

**Contribuição para a caracterização Geofísica do depósito de paligorskite  
de Figueiró do Campo por Resistividade elétrica.**

## **Contribuição para a caracterização Geofísica do depósito de paligorskite de Figueiró do Campo por Resistividade elétrica.**

**Autor:** Agi Tauacale

Dissertação de mestrado apresentada ao departamento de Geociências a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, como requisito necessário para obtenção do grau de Mestre em Geologia.

**Orientação:** António José Nogueira Gomes de Moura & Rui Miguel Marques Moura

**2015**  
**Porto**

## O júri

Presidente

Professora Doutora Helena Couto  
Professora associada na Faculdade de Ciências da Universidade  
do Porto

Prof. Doutor José António Ganilho Lopes Velho  
Professor associado com agregação na Universidade de Aveiro  
Prof. Doutor

Prof. Doutor Rui Marques Moura  
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do  
Porto

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar a Deus, e a minha família.

Aos meus orientadores, **Rui Moura & António Moura**, pela paciência e apoio prestado neste trabalho;

A todos professores do departamento de Geologia, agradecimentos também extensivo ao professor de engenharia Geográfica na pessoa de **José Alberto Gonçalves**, pelos dados fornecidos em forma de shape.

Aos meus colegas em particular que directa ou indirectamente ajudaram no processo da minha integração.

Em suma a todos vai meu;

**Obrigado**



## **Dedicatória**

A minha família, em especial a minha filha  
Ashley Micaela;  
a memória das minhas queridas avós Manzi &  
Marieta.

**DEDICO.**

## **Resumo**

A maior parte do reconhecimento das litologias geológicas, é obtida através de informações de escavações direitas, poços e furos de sondagem. No entanto com a evolução cada vez mais da ciência geofísica, tornou-se mais fácil o conhecimento geológico através de investigações, com recurso a técnicas indirectas.

Deste modo as ferramentas geofísicas têm sido fundamentais para o reconhecimento geológico de um depósito mineral, uma dessas técnicas geofísicas é a resistividade elétrica.

Com vista a fazer um bom aproveitamento dos recursos minerais é necessário um estudo qualitativo e quantitativo do jazigo mineral, neste caso o jazigo de paligorsquite de Figueiró do Campo. Este trabalho faz uma breve análise e descrição das características das litologias do depósito de paligorsquite de Figueiró de Campo, que se enquadra na área na folha 19-C, na carta geológica 1:50 000. Com objectivo de compreender melhor a distribuição espacial e contribuir para definir o seu potencial de exploração industrial. Recorreu-se a geofísica (resistividade elétrica), para estimar a espessura do depósito de paligorsquite. Este método permitiu a obtenção de perfis bidimensionais de resistividade elétrica que dão evidência variações espaciais da paligorsquite nesta região em estudo o que poderá ser um grande potencial para beneficiação comercial.

**Palavras-chaves:** Argilas, Paligorsquite, Resistividade elétrica, Figueiró do Campo.

## **Abstract**

Most of the recognition of geological lithologies, is obtained through direct information of excavations, wells and boreholes. However, with the evolution increasingly science geophysics, it became easier to geological knowledge through research, using indirect techniques. In this way the geophysical tools has been fundamental to the geological recognition of a mineral deposit, one of this geophysical techniques is the electrical resistivity.

In order to make a good use of the mineral resources is necessary a qualitative and quantitative study of mineral deposits, in this case the paligorsquite of Figueiró do Campo. This work makes a brief analysis and description of the characteristics of the lithologies paligorsquite of Figueiró do Campo, that fits in the area on the sheet 19-C, in geological letter 1:50 AM 000. With a view to better understand the spatial distribution and contribute to define its potential for industrial exploitation, using the geophysics (electrical resistivity), to estimate the thickness of the deposit of paligorsquite. This method enabled the achievement of two-dimensional profiles of electrical resistivity that give evidence spatial variations of paligorsquite in this region and that could be a great potential for improvement.

## Índice

<b>Capítulo I</b>	12
1.Introdução	13
1.2.Objetivos	13
1.3. Argilas (Paligorskite)	14
1.3.1. Classificação das Argilas	15
1.3.1. Mineralogia	16
1.3.2. Génese	20
<b>Capítulo II</b>	23
2.Metodologia e procedimentos de trabalho	24
2.1.Métodos de estudos para depósitos minerais	24
2.2.Procedimentos de trabalho	25
2.3.Estrutura da Dissertação	26
<b>Capítulo III</b>	28
3.Localização Geográfica e enquadramento Geológico regional	29
3.1. Localização Geográfica	29
3.2.1.Enquadramento Geológico Regional	30
<b>Capítulo IV</b>	34
4. Exposição Bibliográfica	35
<b>Capítulo V</b>	48
5. Análise e Discussão de dados	49
5.1. Observações Geológicas de Campo	49
5.2. Amostragem e espaçamento dos eléctrodos	51
5.3. Trabalhos Resistividade eléctricos em campo	52
5.4. Resultados da Resistividade Elétrica	55
5.4.1. Wenner	55
5.4.2. Wenner-Schlumberger	58
5.4.3. Dipolo-Dipolo	60
5.4.4. Análise em 3D	63
<b>6.1.Conclusões</b>	65
6.2.Trabalhos Futuros	65
<b>7.Bibliografias</b>	67
Anexos	73

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Projecção da estrutura da paligorsquite. ....	14
<b>Figura2:</b> Aspecto fibroso na estrutura da paligorsquite.....	16
<b>Figura 3:</b> Mineralogia da paligorsquite de Figueiró de Campo. ....	18
<b>Figura 4:</b> Génese de Minerais de Argila. ....	21
<b>Figura 5:</b> Localização Geográfica da Área de Estudo.....	29
<b>Figura 6:</b> Enquadramento Geológico da Bacia Lusitaniana .....	30
<b>Figura 7:</b> Perfil litoestratigráfico .....	32
<b>Figura 8:</b> Principais formações da região de Figueiró do Campo. ....	33
<b>Figura 9:</b> Forma de onda periódica. ....	39
<b>Figura 10:</b> Intervalos de resistividade/conductividade eléctrica de algumas rochas e materiais. ....	42
<b>Figura 11:</b> Modelo de esquemático de resistividade.....	43
<b>Figura 12:</b> Modelo esquemático de profundidade.....	44
<b>Figura 13:</b> Principais arranjos eléctrodos utilizados em ensaios de campo e seus factores geométricos ..	45
<b>Figura 14:</b> Arranjo de electrodos para uma investigação 2D.....	47
<b>Figura 15:</b> Fotos de afloramento do depósito .....	49
<b>Figura 16:</b> Perfil ilustrativo afloramento do deposito de Figueiró do Campo.....	50
<b>Figura 17:</b> Vista do perfil de 2014 e 2015.....	51
<b>Figura 18:</b> Material usado em campo.....	53
<b>Figura 19:</b> Perfil Wenner .....	57
<b>Figura 20:</b> Perfil 1 Wenner-Schlumberger 2014.....	58
<b>Figura 21:</b> Perfil 2 Wenner-Schlumberger-2014 .....	59
<b>Figura 22:</b> Perfil Dipolo-Dipolo.....	61
<b>Figura 23:</b> Linhas de interpretação das principais secções.....	62
<b>Figura 24:</b> Vista 3D do perfil de 188 m de 2014.....	63
<b>Figura 25:</b> Vista 3D do perfil de 188 m e de 211.5 m de 2015 e de 2014.....	64

## **Índice de Tabelas**

<b>Tabela 1 :</b> Composição química de paligorskite de diferentes origens..	14
<b>Tabela 2:</b> Mineralogia da paligorskite Comercial ...	14
<b>Tabela 3:</b> Resumo de aplicação Industrial da paligorskite. ....	18
<b>Tabela 4:</b> Métodos geofísicos. ....	33
<b>Tabela 5:</b> Aplicações de levantamentos geofísicos. ....	35
<b>Tabela 6:</b> Espaçamento de eléctrodos a partir da fonte injeção em campo .....	51

## **Abreviaturas e Símbolos**

**CVL**-Complexo Vulcânico de Lisboa

**CNG**- Congresso nacional de geologia

**CXG**-Xisto-Grauváquico

**CoGePLiP**- Congresso de Geologia de Países da Língua Portuguesa

**DRX** - Difracção raio X

**EUA**- Estados Unidos de América

**t/ano**- Toneladas por ano

**SEV'**- Sondagens eléctricas verticais

**Th**- Tório

**M.a** – Milhões de anos

**m**- Metros

**U**- Urânio

**TE**- Tomografia eléctrica

**Ohms**-Unidade de medida resistividade eléctrica.

**1D**- Uma dimensão

**2D**-Duas dimensões

**3D**-Tres dimensões

## **Capítulo I**

### **Introdução**



## 1.Introdução

O presente trabalho, intitulado ***Contribuição para a caracterização geofísica do depósito de paligorsquite de Figueiró do Campo por Resistividade eléctrica***, insere-se no âmbito da dissertação de mestrado em Geologia, leccionada na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, e tem como objectivo, a caracterização do depósito de paligorsquite, através de métodos geofísicos.

Os primeiros trabalhos de aplicação deste método em prospecção mineral datam do início do século XX, dentre os diversos pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento do método da resistividade eléctrica destacam-se Conrad Schlumberger, da "Escola Francesa" e Frank Wenner, da "Escola Americana". Eles foram responsáveis pela introdução do arranjo de quatro eléctrodos para medidas de resistividade de superfície (Borges,2007).

As argilas são muito importantes para as indústrias, sendo utilizadas nas indústrias de processamento, aplicações agrícolas, aplicações de engenharia e construção, correcções ambientais, entre outras.

O método da resistividade eléctrica é um dos métodos de prospecção, frequentemente usado no estudo de descontinuidades, tanto verticais como horizontais, na caracterização das propriedades eléctricas dos terrenos e na detecção de estruturas tridimensionais cujas propriedades eléctricas contrastem com as dos materiais encaixantes. A fim de se avaliar a potencialidades do depósito de paligorsquite de Figueiró de Campo, recorreu-se ao método investigação geofísica, isto é a técnica de resistividade eléctrica.

## 1.2.Objetivos

Faz parte do objectivo geral deste trabalho, compreender a estrutura do depósito com recurso às técnicas de geofísicas, e por sua vez este objectivo geral está subdividido em específicos a saber:

- ✓ Estimar a espessura do nível com potencial interesse económico;
- ✓ Mostrar os contrastes de litologias presentes no depósito;
- ✓ Estimar a espessura de material por cima do teto do nível argiloso;
- ✓ Interpretar os dados obtidos através dos três arranjos eléctricos (Dipo-Dipolo; Wenner e Schlumberger);
- ✓ Computorizar e modelar o depósito.

### 1.3. Argilas (Paligorsquite)

As argilas são utilizadas desde os primórdios da humanidade, artigos rupestres como vasos de barro, louças, ajudaram o Homem a desvendar o seu passado e perceber o avanço da Humanidade ao longo dos tempos. Segundo Soares dos Santos, (2013) citando (Aguiar & Santos *et al.*, 2007), argila mineral argiloso são rochas constituídas por minerais de argilas, os quais são silicatos de  $F_4e$ , e de Mg hidratos, cuja estrutura básica é um octaedro em combinação com sílica tetraédrica ( $SiO_4$ ). Essas estruturas se associam e formam camadas tetraédricas e octaédricas, segundo a figura abaixo.

A **paligorsquite** é um mineral tipicamente fibrosa, possui uma estrutura tridimensional que consiste em uma dupla camada composta de tetraedros de silício e oxigénio unidas por iões de magnésio em coordenação octaédrica (Silva & Barreto, 2009).

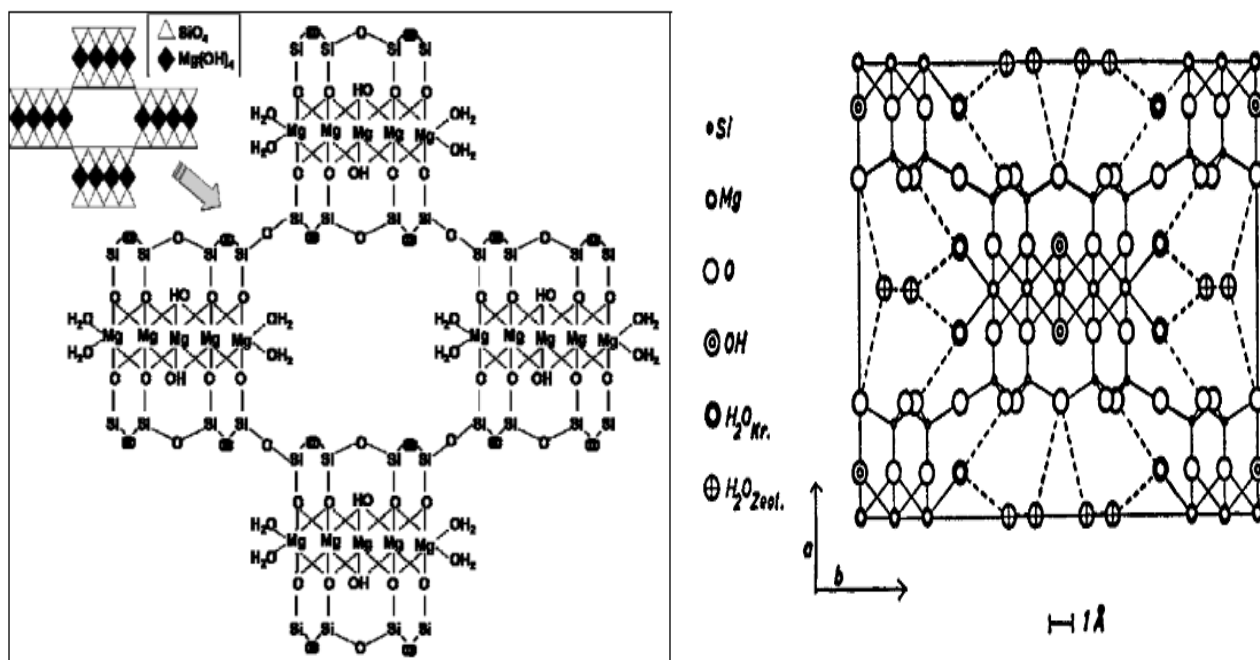


Figura 1: Projecção da estrutura da paligorsquite (Alves, 2013).

### **1.3.1. Classificação das Argilas**

A complexidade e a variabilidade das argilas deve-se à variação quantitativa e qualitativa, dos minerais argilosos e não argilosos que as constituem, à variação da distribuição dimensional das partículas minerais que as formam e as suas características texturais. Estes factores dificultam a classificação das argilas, conduzindo à ideia de que “não existem duas argilas iguais”.

Na óptica de Meira (2001), contudo existem duas classificações frequentemente usadas, tendo em conta o processo de formação, quer a sua composição quer os seus usos industriais. Por um lado temos uma classificação **genética** que toma em consideração os processos de formação das argilas e o seu modo de ocorrência, e por outro lado temos a classificação **industrial ou tecnológica**, que tem em consideração as características e propriedades específicas das argilas e as suas aplicações industriais.

Segundo Murray (2000), a paligorsquite foi descoberta na Rússia em 1861, nos Montes Urais, na Série Palygorsk. O nome atapulgite provém de importantes depósitos que ocorrem em formações miocénicas na região de Quicy-Attapulgis no sul da Geórgia e Norte da Florida, nos EUA. Estas argilas são caracterizadas por desenvolver alta viscosidade nas suas suspensões ou dispersão aquosa nas soluções em que participam.

Para Murray, (1997), **paligorsquite e atapulgite** são termos sinónimos para o mesmo material, silicato de Mg-Al, hidratado. O nome especificado pelo Comitê Internacional de Nomenclatura é paligorsquite, no entanto, o nome atapulgite está tão bem conhecido nos círculos comerciais que continua a ser utilizado por muitos produtores.

As **principais propriedades da paligorsquite** são: a) alta superfície específica; b) alta capacidade de absorção; c) poder decolorante, d) inércia química; d) propriedades tixotrópicas em presença de eletrólitos; f) não intumescer em água, g) baixa carga superficial, decorrente de pequena substituição isomórfica; h) capacidade de troca catiónica: 20- 40meq/100g (Oliveira, 2010 citando Murray, 2000).

Na região de Figueiró do Campo, foram feitas análises com recurso a Microscopia electrónica de varrimento em amostras do siltito rico em paligorsquite que constitui o depósito em estudo, tendo sido observado que a paligorsquite é composta por cristais alongados (Alves, 2013).

Estudos feitos por Alves (2013), com recurso a microscopia electrónica de varrimento, mostrou que a paligorsquite da região do Figueiró do Campo, apresenta o seguinte aspecto fibroso como ilustram a figura 2.

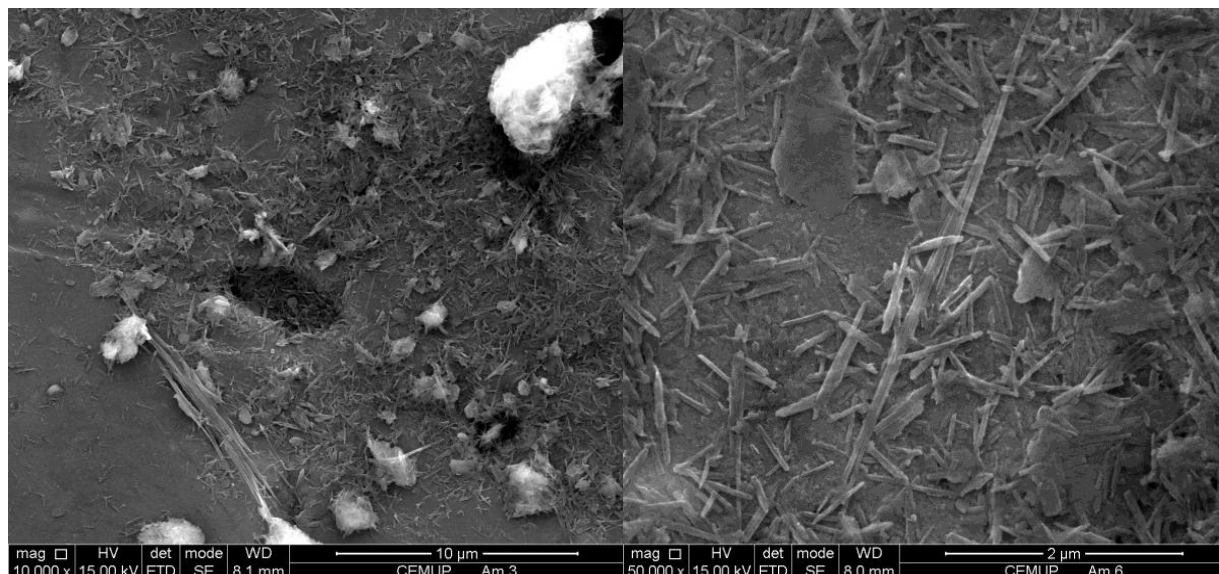


Figura 2: Aspecto fibroso da estrutura da paligorsquite, (Alves,2013).

### 1.3.1. Mineralogia

A paligorsquite é uma argilo-mineral, pertencente ao grupo das Hormites, minerais que são silicatos complexos de magnésio, com uma estrutura em canal aberto, formando cristais alongados. Podem apresentar substituições isomórficas parciais do magnésio pelo alumínio e/ou ferro. Essas substituições do magnésio, nas camadas octaédricas dos minerais de argila, resultam num excesso de cargas negativas. Estas, associadas a altas superfícies específicas, tornam a paligorsquite um solvente para algumas moléculas polares ou iões positivos. A capacidade de troca catiónica da paligorsquite varia entre 20000 a 50000/100 gramas, o que não pode ser comparada com a esmectite, mas no entanto é maior do que a da caulinite. (Luz & Almeida, 2005 citando Heivilin e Murray, 1994).

A composição química da paligorsquite corresponde à célula unitária da paligorsquite, cuja fórmula química é  $\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_4\text{H}_2\text{O}$ . No que diz respeito a distribuição dos elementos químicos podemos ver conforme as tabela 1 e 2, a que salientar que os elementos Mg e Al são os mais importantes.

**Tabela 1 :** Composição química de paligorskite de diferentes origens.

Teor (%)	Nizhnii-Novgorod Rússia	Taodeni Saara Argélia	Nerchinsk Sibéria Rússia	Attapulgis Geórgia EUA	Attapulgis Geórgia EUA	Padrão CMS Flórida	Padrão OECD Flórida
SiO <sub>2</sub>	51,17	54,71	46,67	55,03	57,85	60,9	75,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,73	13,48	9,84	10,24	7,89	10,4	9,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,55	2,10	0,93	3,53	2,82	3,4	3,1
FeO	0,31		1,22				
MgO	6,40	5,44	8,94	0,49	13,44	10,2	8,35
CaO	2,89	2,79	8,36		0,30	1,98	2,03
K <sub>2</sub> O				0,47	0,08	0,80	0,74
Na <sub>2</sub> O					0,53	0,06	0,14
H <sub>2</sub> O	10,29	8,65	8,29	9,73	16,95		
P.F.	13,24	12,63	15,84	10,13		10,31	

Fonte: Baltar *et al.*, (2003).

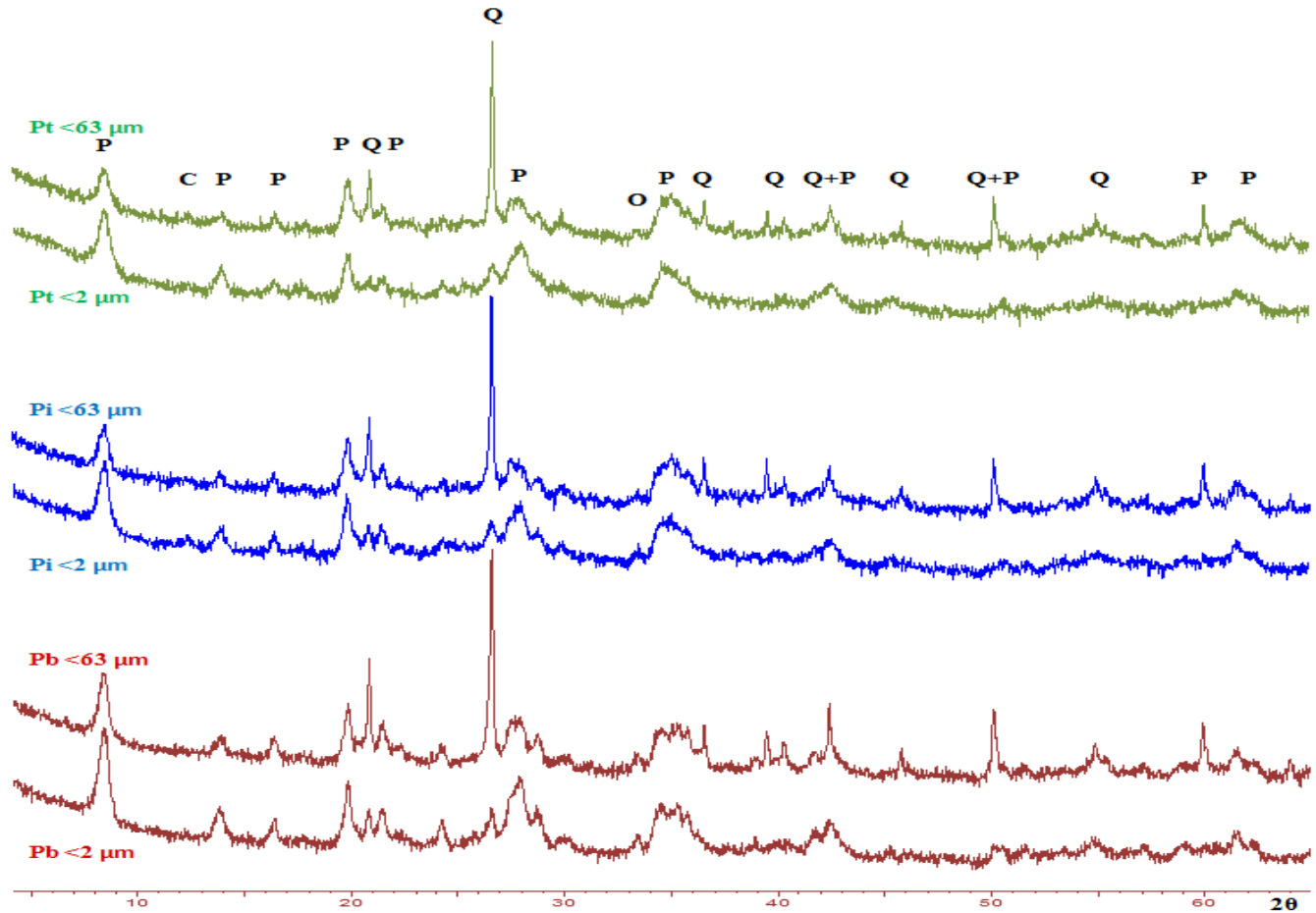
**Tabela 2:** Mineralogia da paligorskite Comercial.

Análise Química (típica)	(%)	Propriedades Físicas				
SiO <sub>2</sub>	58,5	Cor	Branca e cinza			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,8	Humidade	3,0 – 8,0 % (peso/peso)			
MgO	5,3	Densidade aparente	0,45 – 0,65 g/cm <sup>3</sup>			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	Absorção de água	80 – 120 % (peso/peso)			
CaO	1,6	Absorção de óleo	70 – 110 % (peso/peso)			
K <sub>2</sub> O	1,8	Área superficial (BET)	135 – 140 m <sup>2</sup> /g			
Outros óxidos	1,5	Capacidade de troca catiónica (CTC)	30-40 meq/100g			
Perda ao fogo	15,5	pH (suspensão 5 %)	7,5 – 9,5			
Mineralogia	(%)	0416G	1630G	2560G	050F	080F
Paligorskite	80 - 90	4,75 -1,18 mm	1,18-0,60 mm	0,71-0,25 mm	250 µm	160 µm
Quartzo	5 - 10	TMP = 2,36 mm	TMP = 0,85 mm	TMP = 0,43 mm	TMP = 160 µm	TMP = 35 µm
Dolomite	0 - 10					
Caulinite	0 - 10					

TMP = Tamanho médio da partícula.

Fonte: Alves (2013).

Estudos de amostras feitos com recurso a difractogramas nas fracções <63 µm e <2 µm, por Alves (2013) nesta área na região do Figueiró do Campo, mostram que os sedimentos nesta região tem uma clara predominância de paligorskite e de quartzo, onde o quartzo é considerado uma impureza dominante, como nos ilustra a figura 3.



**Figura 3:** Mineralogia da paligorsquite de Figueiró de Campo.

**Fonte:** Alves (2013), difractogramas das amostras nas fracções <63 µm e <2 µm, em que **P** representa a paligorsquite, **Q** o quartzo, **C** a caulinite e **O** os óxidos de ferro (hematite e goethite), da região do Figueiró de Campo, elevada predominância de quartzo.

As argilas como recurso mineral pertencem ao grupo dos minerais industriais e foram um dos primeiros produtos naturais utilizados pelo Homem como material de construção. A nível industrial definem-se dois grandes grupos de argilas: as argilas especiais e as argilas comuns, dependendo da sua génese, composição, propriedades e aplicações. O valor económico dos produtos fabricados com cada tipo de argila é consequência directa do valor económico da própria argila, (Ferreira & Velho, 2006).

A paligorsquite, quando comparada com outras argilas industriais (bentonite, caulinite entre outras), apresenta propriedades físico-químicas que lhe conferem vários usos industriais, tais como fluido de perfuração, descoloração de óleos vegetais, minerais e animais, absorventes de óleos e graxas,

absorvente de dejectos de animais domésticos (pet litter), purificação de águas domésticas etc. (Almeida & Chaves, 1995).

Na óptica de Murray (1997), a carga nas partículas, os canais através da estrutura, e a área de superfície elevada da paligorsquite conferem-lhe uma elevada capacidade para absorver diversos materiais o que o torna benéfico para muitas aplicações industriais. Além disso, as partículas alongadas causam maior viscosidade quando são adicionados a qualquer líquido. Isto é uma característica física e não química, razão pela qual é muito estável, como um meio de suspensão em muitas aplicações, tais como fluidos de perfuração sobre água salgada. A viscosidade e resistência ao gel da lama não são afectadas por variações na concentração de electrólitos e, portanto, pode ser usado com água salgada, (Ver na tabela 3).

Os EUA são um grande produtor da paligorsquite, com destaque para os Estados da Flórida e Geórgia. Chegam a produzir cerca de 253.000 t/ano de paligorsquite, (Convém alertar que as estatísticas americanas de produção de paligorsquite são geralmente incluídas na produção total das argilas classificadas como terra fuller, que alcança cerca de 2,7 milhões t/ano.) Os principais usos da paligorsquite nos EUA são: coretor de fertilizante, absorvente de óleos e graxas, pesticida, produtos de gesso, lama de perfuração, tinta, alimentação animal, aplicações têxteis, clarificação e descoloração de óleos e graxas, revestimento de piso cerâmico etc. (Almeida & Chaves, 1995).

Em Portugal a paligorsquite ocorre em formações sedimentares e em veios de depósitos vulcânicos, tendo sido assinalada pela primeira vez em 1964. Segundo Carvalho (1967), em Portugal são conhecidas desde longa data, variedades deste mineral no chamado “cratão da montanha”, com ocorrências de paligorsquite detrítica. A primeira ocorrência, da paligorsquite em Portugal foi feita em ***Etude geologique et sedimentologique de la region de ponte Sor (bordure Est du bassin tertiaire du bas-Tage, em 1964*** por Carvalho). Neste contexto, pode-se ver alguns depósitos minerais da paligorsquite em algumas regiões Portuguesas (vide figura 4).

A paligorsquite ocorre em Portugal principalmente em formações sedimentares da base das bacias terciárias do Tejo-Sado, Guadiana e Douro, em formações do Triássico e do Terciário da bacia sedimentar de Aveiro e em veios nos basaltos e piroclastos do Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL) que se instalou há cerca de 72 M.a (Dias & Prates, 1994). Mas segundo Moura *et al.*, (2015), esta argila (paligorsquite) é mal conhecida em Portugal e não tem sido objecto de exploração. Moura *et al.*, (2015), cita trabalhos

realizados por (Dias,1998), como os únicos que avaliaram o potencial económico e o mesmo caracterizou as argilas especiais em termos mineralógicos, tecnológicos, químicos e físicos, também fez vários ensaios de activação química com vista à beneficiação das paligorskites estudadas no sentido de se descobrir novos campos de aplicação.

**Tabela 3:** Resumo de aplicação Industrial da paligorskite.

Fluidos de perfuração	Absorventes de camas de gato	Selante
Tintas	Adubo em suspensão	Adesivos
Indústria de Papel	Agricultura	Suportes de catalisadores
Cerâmica	Absorventes pisos industriais	Farmacêutico
Emulsões asfálticas	Refinação de Óleo Mineral e vegetal	Ração de Animais
Cosmética	Absorvente ambiental	Filtros de cigarros

**Fonte:** Adaptado de Murray, (1997).

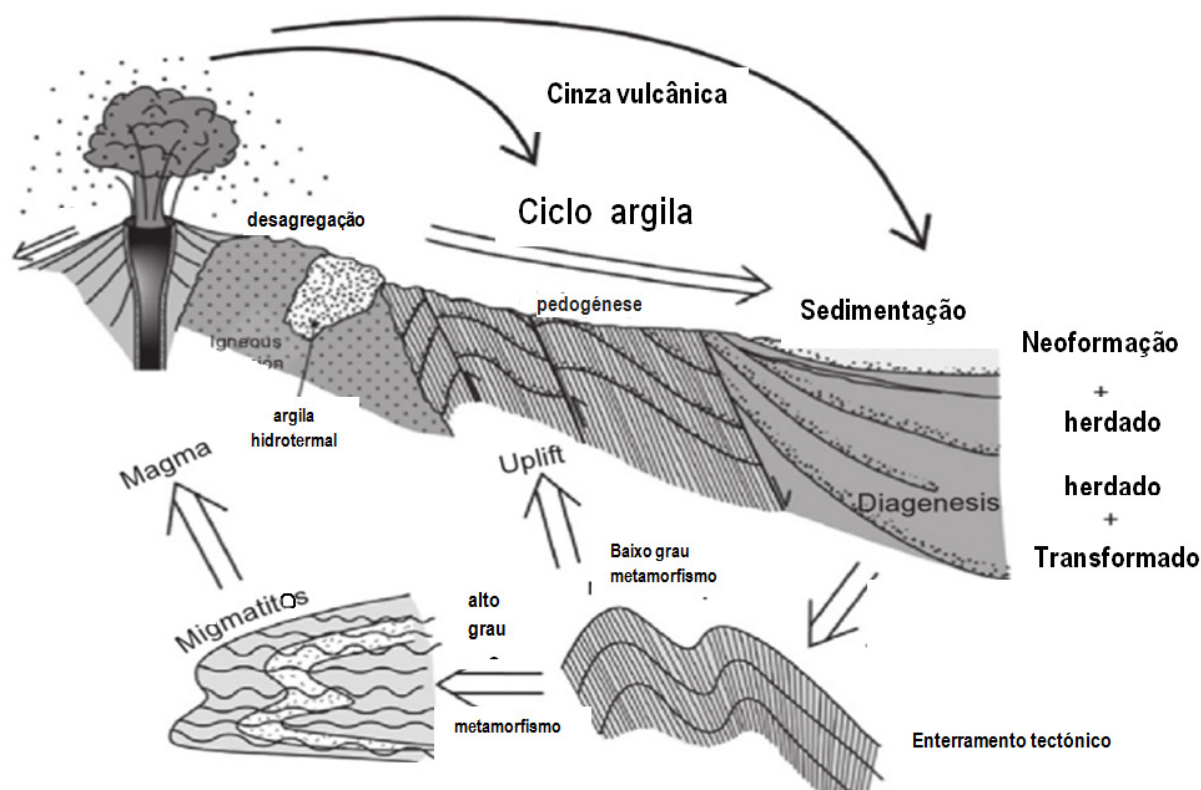
### 1.3.2. Génese

A paligorskite apresenta diversos modos de ocorrência e génese mineral, depósitos destes minerais foram encontrados na água do mar, em ambiente marinho e continental/lacustres de transição, em solos continentais, com associação de rochas ígneas (Birsoy, 2002).

Segundo Meira (2001), minerais como quartzo, feldspatos, micas, anfíbolos e piroxenas, constituintes das rochas silicatadas da crosta terrestre, quando expostos a atmosfera tornam-se instáveis, a água penetra nos poros, clivagens e microfracturas deles e dissolvem os seus constituintes.

Na óptica de Singer & Galan (1984), muitos depósitos de grupos de minerais da paligorskite, são formados inicialmente em três ambientes diferentes. A formação da paligorskite requer condições alcalinas e salinas com elevada actividade de sílica e magnésio (Knidiri *et al.*, 2014 citando Weaver & Beck, 1977); condições áridas, forte evaporação e limitada oferta detrítica clástica, que possa ocorrer sobre tudo em ambientes lacustres e ambientes peri marinhos, geralmente em solos das zonas semiáridas e áridas do mundo; por este motivo atribui-se à paligorskite a característica de indicador de clima semi-árido/árido sazonal (Knidiri *et al.*, 2014 citando & Galan,1984), como mostra a figura 4.





**Figura 4:** Génese de Minerais de Argila.

Adaptado de (Galán & Ferrell, 2013, Ilustração da definição dos processos tectónicos envolvidos na reciclagem de mineiras de Argila na crosta terrestre e ambientes envolventes).

Segundo Galán & Ferrell (2013), uma variedade de processos, tais como precipitação directa, alteração de cinzas vulcânicas, transporte detrítico, e transformação de esmectite, Magnésio-carbonato e serpentinito têm sido sugeridos. A precipitação por solução é o mecanismo mais sugerido por muitos autores para a formação da paligorsquite em vários depósitos mundiais. Neste trabalho iremos apenas falar de dois processos de formação da paligorsquite, a neoformação e a formação a partir da esmectite.

**Neoformação** – De acordo com Ribeiro (1996) citando Vernet (1967), são minerais de neoformação que ocorrem em sedimentos com reacções básicas, ricas em Sílica e magnésio, e com teor de carbonatos relativamente elevado. Em ambientes sedimentares, a transformação é maioritariamente relacionada com a diagénese, enquanto a neoformação pode ocorrer em ambientes singenéticos (deposicional) e diagenéticos, deste modo a paligorsquite aparece como um bom exemplo de um mineral autogénico.

**Formação a partir da esmectite** – Segundo Chemedda e Christidis, *et al.* (2014 ),citando Galan e Singer, 2011; Neaman e Singer, 2000), os minerais de argila fibrosos ocorrem em associação com esmectite, especialmente em solos argilosos.

Daoudi *et al.*, (2009), sugerem que a paligorskquite se forme por precipitação direta de esmectite, processo no qual ocorre a formação de paligorskquite através de minerais ricos em Mg. As condições necessárias para a génese da paligorskquite seriam a elevada atividade de Mg e Si, com algum Al, salientado que se a paligorskquite coexiste com dolomite, a concentração de Mg na solução foi encontrada para ser adequada para a formação de paligorskquite. A presença da paligorskquite derivada da esmectite, sugere ambiente, áridos e semiáridos.

## **Capítulo II**

### **Metodologia e procedimentos de trabalho**

## **2. Metodologia e procedimentos de trabalho**

A possibilidade de estudos e prospecções geológicas a fim de determinar as propriedades físicas do meio geológico, ou até mesmo reconhecer a geometria das litologias em profundidade, a partir da aplicação de um conjunto de instrumentos específicos com a obtenção de dados em tempo real, mesmo que necessite de um processo de tratamento desses dados posteriormente, torna vantajosa e prática a utilização de métodos geofísicos, (Jarentchuk, 2013).

Nesse sentido, entende-se que existe similaridade entre os dois métodos geofísicos fundamentados no comportamento de propagação das ondas electromagnéticas, e na prática os que os difere são os meios de interpretação dos dados e na resolução da imagem (mapeamento) e a profundidade de penetração do sinal emitido.

### **2.1. Métodos de estudos para depósitos minerais**

Na óptica de Jarentchuk (2013), o grande interesse na utilização de métodos geofísicos está na aplicação de técnicas reconhecidas como não destrutivas, isto é, os equipamentos usados em prospecções geofísicas permitem o acesso aos dados em subsuperfície indirectamente, sem a necessidade de causar impactos maiores à paisagem, como por exemplo, a abertura de trincheiras para o reconhecimento da configuração das camadas sobrepostas de solos em perfil.

Segundo Jarentchuk (2013) citando (Kearey *et al.*, 2009), os métodos de aquisição geofísicos são aqueles que se utilizam de propriedades naturais do planeta, ou simplesmente denominados potenciais, como flutuações nos campos gravitacionais, magnéticos, eléctricos e electromagnéticos terrestres; e aqueles que necessitam de fontes artificiais geradoras de campos eléctricos ou electromagnéticos no local de interesse.

Fazendo um breve resumo, de alguns dos métodos usados na pesquisa de depósitos mineiras, como paligorsquite entre outros minerais de interesse económico ou científico, mas com maior ênfase para o método que será objecto de estudo neste trabalho (resistividade eléctrica), outros serreram mas adiante aprofundados), podemos ter os seguintes:

- a) **Sismologia e Sísmica**- terremotos e explosões artificiais geram ondas que atravessam a Terra, com diferentes velocidades, sofrendo reflexões e refacções. O estudo da velocidade e a

propagação dessas ondas permite conhecer a estrutura interna da terra, e estruturas pequenas dentro da camada mais superficial (crosta) que podem conter recursos minerais.

- b) **Resistividade eléctrica** -a prospecção eléctrica recorre ao uso de uma grande variedade de técnicas, cada uma delas baseada numa diferente propriedade ou característica dos materiais do solo. Essas variações podem ser causadas por corpos geológicos que ocorrem naturalmente abaixo da superfície (por exemplo, mineralizações e camadas aquífero), como também por materiais introduzidos pelo homem na subsuperfície (poluentes, ou plásticos e artefactos arqueológicos, entre outros).

Segundo Kearey *et al.*, (2009), a resistividade eléctrica é compreendida como característica de resistência do fluxo de corrente eléctrica de determinado volume de material em prospecção, como por exemplo a porosidade do meio que impõe controlo sobre a resistividade das rochas, de maneira que a resistividade é dada como sendo inversamente proporcional ao gradiente de porosidade, textura e da distribuição dos poros. Este método produz informação sobre as camadas, ou corpos que tenham anomalias na sua resistividade eléctrica, consoante o meio atravessado.

**Electromagnético**- na óptica de Rosa (2002), o método electromagnético tem seu funcionamento, tirando partido ao reconhecimento de variações na intensidade do campo magnético terrestre, o campo geomagnetismo em função das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície, destacando-se também a possibilidade em determinar o posicionamento e dimensões de corpos de origem ígnea.

Como o nome indica este método baseia-se na propagação de campos electromagnéticos de baixa frequência, quer acima, quer abaixo da superfície. É muito usado na exploração mineral (os detectores de metais usam este método).

Sumariamente pode-se dizer, que o método proposto para este, trabalho reveste-se de grande importância, visto que funciona como ferramenta que podem nos auxiliar, na pesquisa geofísica.

## 2.2.Procedimentos de trabalho

- I. **Consulta bibliográfica**, que consistiu basicamente na recolha, análise e síntese de bibliografia que versa sobre a temática em estudo, desde mapas geológicos da região, até trabalhos realizados nesta região;

- II. **Método cartográfico.** Este método foi usado para a produção de mapas, com recurso ao programa “Arcmap” versão 10.2, Google EarthPro, e AutoCad2015, desde a produção dos mapas, e amostragem do depósito;
- III. **A recolha de dados** foi feita durante secções de campo, com recurso ao aparelhos de medição de resistividade eléctrica (RM1, serie 001), também usou-se o GPS Garmin da serie 7CSx para a colecta das coordenadas do local de estudo e a posterior descarregados com recurso ao programa DNR garmin. Durante o trabalho de campo foi feito um perfil com espaçamento de 4.5m, e foram feitas medidas a partir dos eléctrodos 24 contando desde o estação de medida, totalizando 48 eléctrodos, na qual 3 arranjos geofísicos diferentes foram usados, dentre elas: Wenner- Schhumberger; Wenner e Dipolo-Dipolo.
- IV. **Análise de dados** as análises de dados foi feita com recurso ao programas computacionais RES2DINVx64 ROCKWORKS 2015 e x2ipi, para a criação do modelos de resistividade outro programa usado foi o Arcmap10.2 para projecção das coordenadas do local do depósito, e posterior sobreposição dos mesmo.
- V. A etapa final consistiu, na elaboração da presente dissertação.

### **2.3.Estrutura da Dissertação**

O presente trabalho de pesquisa obedece a seguinte estrutura a saber:

- I. **Introdução:** neste capítulo são abordados aspectos gerais sobre o tema em estudo;
- II. **Metodologia e procedimentos de trabalho:** nesta fase são descritos os métodos na sua generalidade também são descritos métodos e procedimentos usados durante o trabalho;
- III. **Enquadramento geral da área de estudo:** já neste capítulo é abordado o enquadramento da área de estudo, desde a localização geográfica com mas ênfase ao enquadramento Geológico da região de Figueiró de Campo;
- IV. **Exposição bibliográfica:** neste capítulo é apresentada somente uma breve exposição bibliográfica da geofísica como também de alguns métodos geofísicos existentes na perspectiva de vários autores, com maior ênfase os que são de maior interesse neste presente estudo;
- V. **Análise e discussão dos dados:** nesta etapa é apresentada a análise e discussão dos resultados obtidos durante as secções de campo no campo;

- VI. **Conclusões e trabalhos futuros:** é já neste capítulo que são expostas as conclusões do trabalho e propostos alguns trabalhos futuros a se efectuar na região de Figueiró do Campo;
- VII. **Bibliografia:** por fim é apresentada a bibliografia base que serviu de suporte para elaboração desta presente dissertação de mestrado.

### **Capítulo III**

#### **Localização Geográfica e Enquadramento Geológico**



### 3.Localização Geográfica e enquadramento Geológico regional

#### 3.1. Localização Geográfica

O depósito de paligorskite em estudo localiza-se, no concelho de Soure que pertence ao distrito de Coimbra conforme se pode ver na figura a seguinte. ( figura 5)

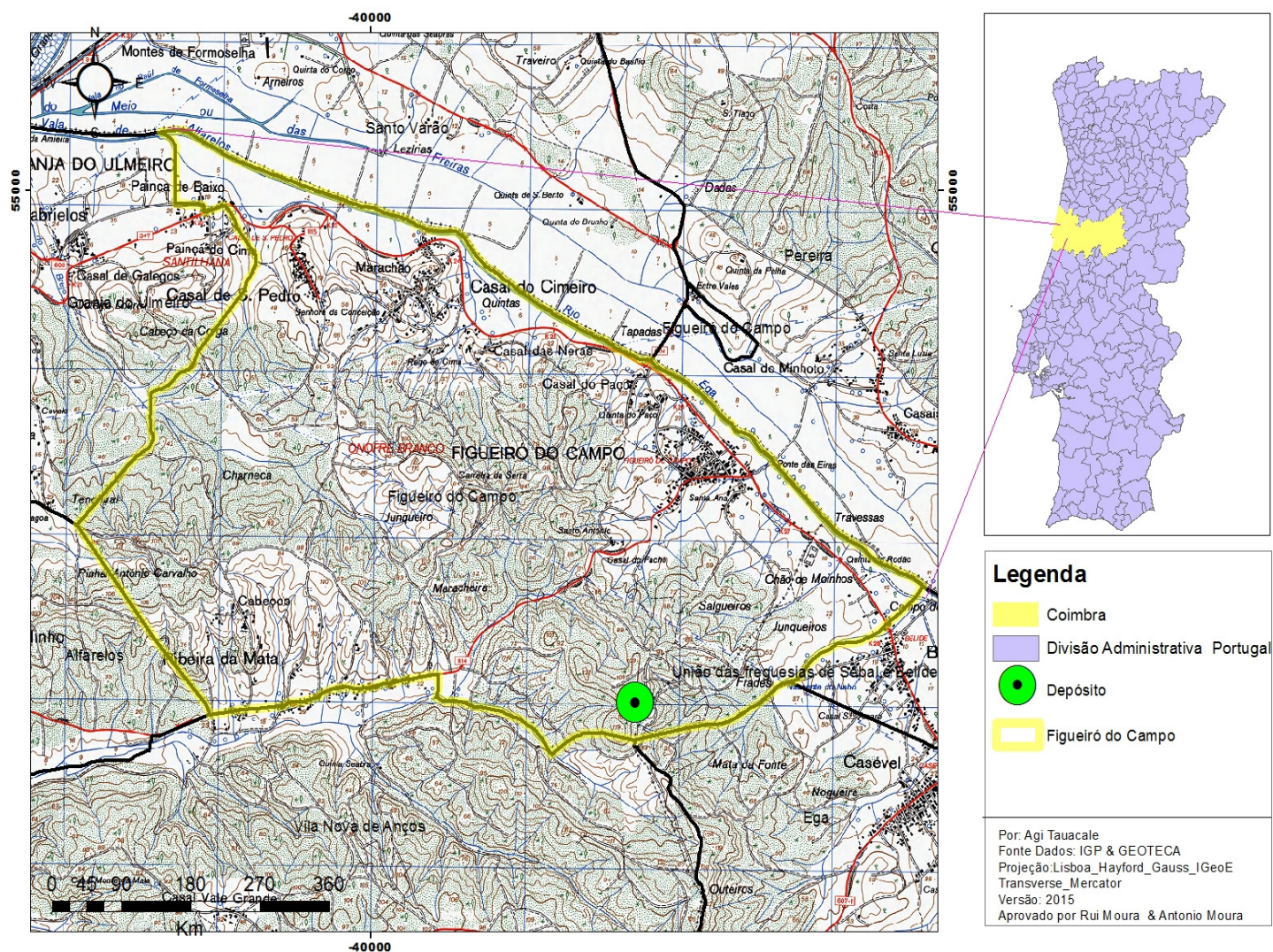
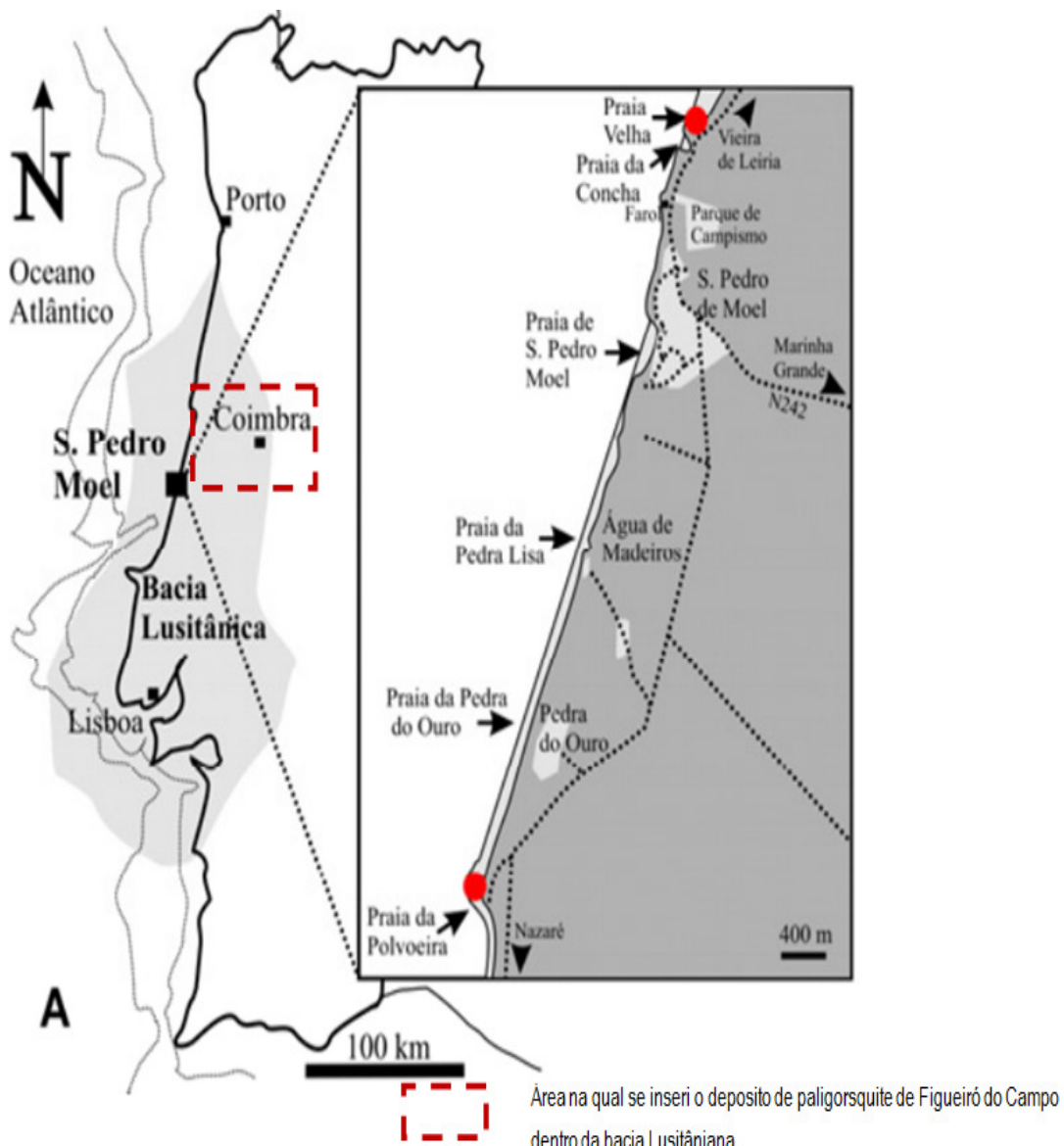


Figura 5: Localização Geográfica da Área de Estudo.

### 3.2.1. Enquadramento Geológico Regional

A área em estudo enquadra-se na unidade morfo-estrutural, designada de Orla do Meso-Cenozóico Ocidental de Portugal, situada na bacia Lusitaniana, as principais unidades tectono-estratigráficas, enquadradas na Zona Centro Ibérica formadas em distensão, por estiramento crustal, inicialmente associado à fragmentação da Pangeia; evoluíram desde o Triásico superior até próximo do limite Cretácico inferior/superior (Kullberg, 2000).



**Figura 6:** Enquadramento Geológico da Bacia Lusitaniana, adaptado de Duarte *et al* (2014).

A Bacia Lusitaniana, corresponde a uma porção de crosta estirada da margem ocidental ibérica, preenchida por sedimentos de idade compreendida entre o Triásico superior e a transição Cretácico inferior.

Segundo Ribeiro *et al*, 1979) a evolução tectónica da Bacia Lusitaniana foi condicionada por falhas que se formaram durante o episódio de fracturação tardi-varisca aproximadamente entre os 300 e os 280 M.a. Este episódio tardi-orogénico resultou da imposição de regime de cisalhamento direito à micro-placa ibérica nos seus paleolimites E-W setentrional e meridional, dos quais resultariam as falhas de desligamento esquerdo de direcção aproximada NNE-SSW a NE-SW.

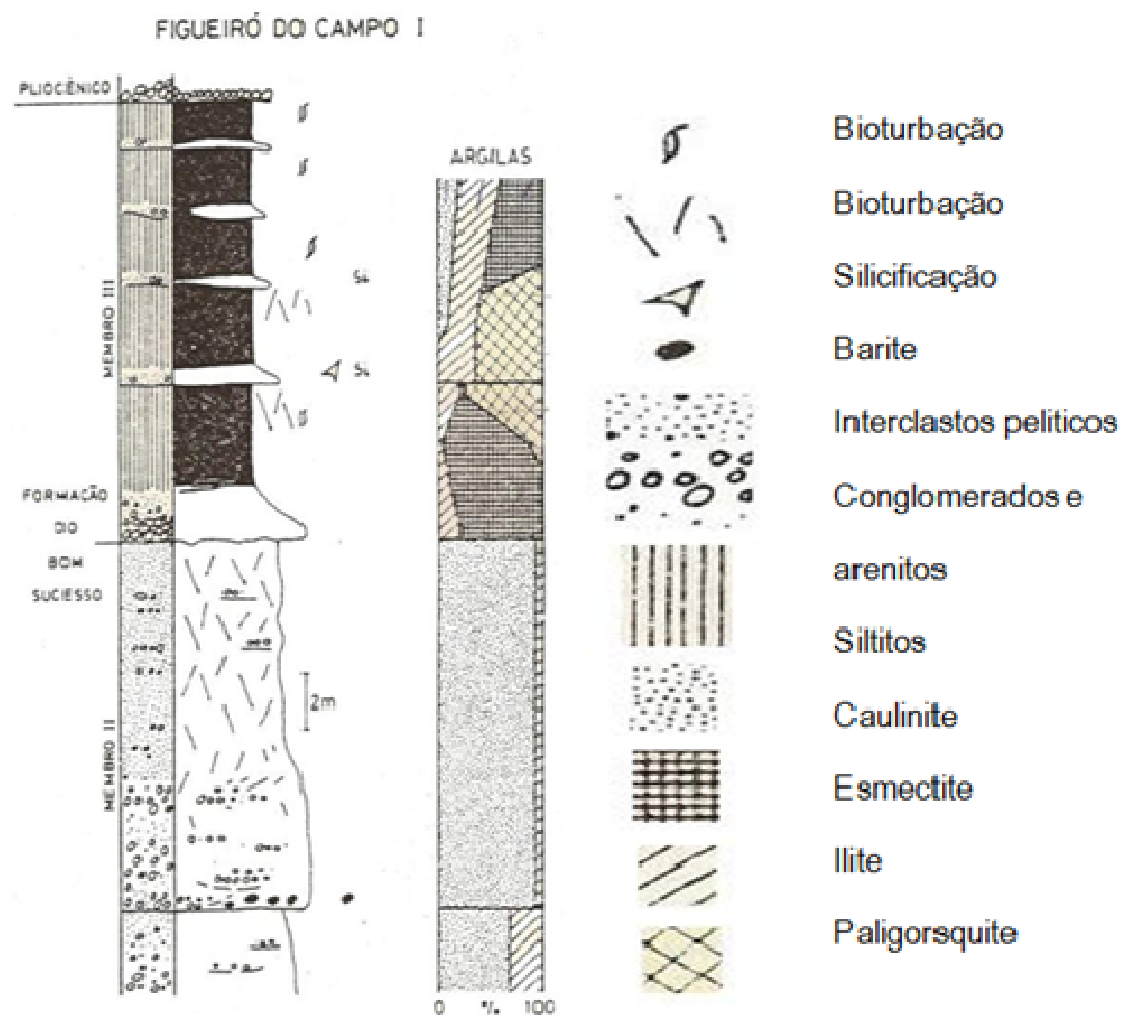
Outras falhas orogénicas variscas de orientação N-S (falha de Porto-Tomar) e NW-SE foram também importantes na estruturação da Bacia Lusitaniana, como adiante ficará patente. Esta é a herança tectónica da Bacia que levou, durante o estiramento crustal mesozóico, à formação do conjunto de bacias marginais. Alves (2013) citando (Duarte,1995), o registo sedimentar mais antigo deste domínio estrutural parece corresponder ao início da formação de uma bacia sedimentar intracratónica marcada por uma fase de “rifting” prenunciada pela posterior abertura do Atlântico. Esta diferenciação ter-se-á iniciado no Triássico Superior, conforme se pode depreender da leitura da Folha 19C, da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000.

Segundo Reis (1983) e Pais *et al*. (2010) referem que a região de Soure, na qual se enquadra o depósito, pertence aos depósitos continentais da Formação dos Grés e Argilas de Amor (de idade Miocénico médio) fazendo parte da bacia Lusitaniana da Orla mesocenozoica de Portugal. Esta Formação distribui-se numa área de algumas centenas de quilómetros quadrados entre os paralelos de Nazaré e de Coimbra. Segundo Reis (1983) a área do depósito apresenta a seguinte sequência estratigráfica (ver figura 7).

Alves (2013), citando (Rocha, R., & Zbyszewski, et al.,1981), a região de Soure, na qual se enquadra o depósito em estudo faz parte do chamando o Complexo de Sanguinheira, que segue a seguinte sequência estratigráfica na ordem decrescente a saber.

- ✓ Arenito fino, argilas arenosas e argilas brancas, amarelas, avermelhadas ou esverdeadas, às vezes com bancadas areníticas-conglomeráticas intercaladas;
- ✓ Camadas arenítico-conglomeráticas com elementos quartzíticos mal calibrados. O cimento argiloso, caulínífero, constitui, nalguns locais, grande parte de rocha;
- ✓ Arenitos grosseiros com calhaus mal rolados.

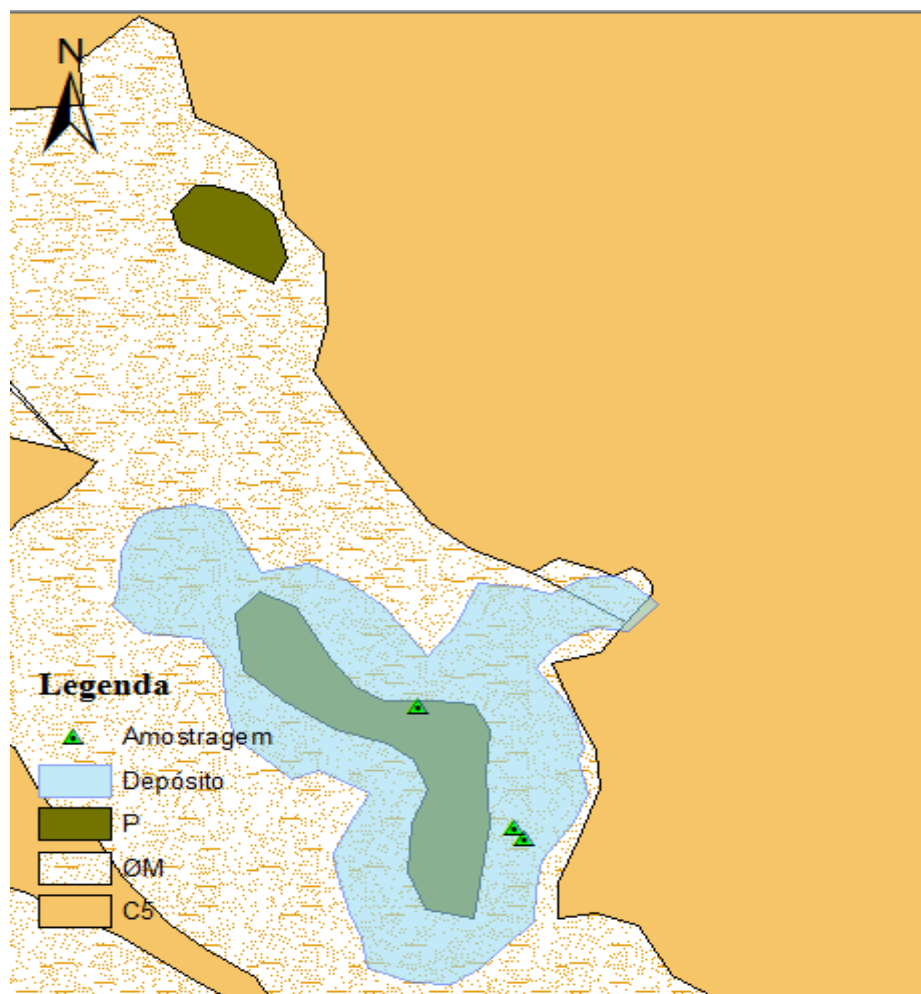




**Figura 7:** Perfil litoestratigráfico na zona do depósito.

Notar que o membro III é agora parte integrante da Formação de Amor (adaptado de Reis, 1983).

Na óptica de Alves (2013), a área em estudo que da região de Figueiró do Campo, na qual se insere o jazigo em análise, comporta a seguinte litologia, como ilustra a figura abaixo, (figura 8).



**Figura 8:** Principais formações da região de Figueiró do Campo. (Alves, 2013). – Enquadramento geológico, adaptação da Carta Geológica à escala de 1:50 000 da folha 19-C. C5 corresponde à Formação de Areias e Argilas de Taveiro, ØM à Formação Argilo-gresosa e Conglomerática da Senhora do Bom-Sucesso e P ao Pliocénico. Nota: a litologia sobrejacente à cor azul (Depósito) corresponde Pliocénico.

## **Capítulo IV**

### **Exposição Bibliográfica**

#### 4. Exposição Bibliográfica

A geofísica aplica os princípios da física ao estudo da Terra, nesta ordem de ideias a investigação geofísica do interior da terra envolve é caracterizada por medições à sua superfície ou próximo a ela tais medidas são influenciadas pela distribuição interna das propriedades físicas da terra. As análises destas medidas podem revelar como as propriedades físicas do interior da terra variam vertical e horizontalmente.

Segundo Kearey & Hill (2002), o método alternativo para a investigação geológica de superfície é, naturalmente, a perfuração (sondagem) mas este método é um método caro e somente fornece informações pontualmente localizadas. Os levantamentos geofísicos, embora algumas vezes passíveis de grandes ambiguidades ou incertezas na interpretação, proporcionam um meio relativamente rápido e barato de se obter informações, distribuídas em área, sobre a geologia de superfície.

Nesta linha o levantamento geofísico não dispensa a necessidade de sondagem, (perfuração), mas a importância da geofísica de exploração como meio de obtenção de informações geológicas de superfície é tão grande que os princípios básicos e o alcance dos métodos e seus principais campos de aplicação deveriam ser mais reconhecidos.

Existe em geral uma divisão dos métodos de levantamento geofísico em dois tipos: Os que fazem usos dos campos naturais da terra; e aqueles que envolvem a aplicação na superfície de energia gerada artificialmente. Os primeiros métodos (campos naturais da terra/potencias) usam os campos gravitacional, magnéticos, eléctricos e electromagnéticos da terra, procurando deste modo perturbações localizadas que possam ser causadas por anomalias geológicas ocultas de interesse económico ou não.

Por outro lado os métodos de fontes artificiais envolvem a emissão de um sinal sísmico, geração de campos eléctricos ou electromagnéticos locais que possam ser usados para deduzir o modelo de distribuição das propriedades geofísicas. A geração de ondas sísmicas, cuja velocidade de propagação e caminhos de transmissão através da superfície são variáveis e podem fornecer informações sobre a distribuição de limites geológicos em profundidade, ( Kearey & Hill *et al.*, 2002).

Os métodos de campos naturais podem geralmente fornecer informações a respeito das propriedades da Terra relativamente a grandes profundidades, e são logisticamente mais simples de serem conduzidos que os métodos de fontes artificiais. Os últimos, no entanto, são capazes de produzir um quadro mais detalhado e de melhor resolução da subsuperfície geológica.

Vários métodos de levantamento geofísico podem ser usados em terra, no mar ou no ar. Os últimos dois possuem maiores custos operacionais associados, se bem que esses últimos ambientes de trabalho são compensados pela elevada velocidade de operação e por se ter o levantamento facilitado em áreas de difícil acesso ou, mesmo, onde este é impossível. Existe uma ampla gama de métodos de levantamento geofísico e, para cada um, há uma propriedade física operativa à qual o método é sensível (vide Tabela 4).

**Tabela 4:** Métodos geofísicos.

<b>Método</b>	<b>Parâmetro medido</b>	<b>Propriedades físicas operativas</b>
Sísmico	Tempos de percurso de ondas sísmicas refletidas/refratadas	Densidade e módulos elásticos, os quais determinam a velocidade de propagação de ondas sísmicas
Gravimétrico	Variações espaciais da força do campo gravitacional da Terra	Densidade
Magnético	Variações espaciais da força do campo geomagnético	Susceptibilidade magnética
<b>Eléctrico Resistividade</b>	<b>Resistência da Terra</b>	<b>Condutividade eléctrica</b>
Eléctrico Polarização induzida	Voltagens de polarização ou resistência do solo dependente da frequência	Cargabilidade eléctrica
Potencial espontâneo	Potenciais eléctricos	Condutividade eléctrica
Electromagnético	Resposta às radiações electromagnéticas	Condutividade e indutância eléctricas
Radar	Amplitude de sinal e tempos de percurso de pulsos de radar reflectidos	Constante dieléctrica e condutibilidade eléctrica.

**Fonte:** (adaptado de Kearey & Hill (2002), Síntese dos métodos geofísicos, o sublinhado é o de maior relevância neste trabalho.



Segundo Kearey & Hill *et al.*, (2002), o tipo de propriedade física à qual um método responde determina o seu campo de aplicações (vide tabela 5). Assim, por exemplo, o método magnético é bastante apropriado para a localização de corpos mineralizados com diversos minerais de susceptibilidade magnética anómala, a uma certa profundidade. Similarmente, os métodos sísmicos ou eléctricos são apropriados para a localização de um lençol freático porque a rocha saturada pode ser distinguida da rocha seca pela sua velocidade sísmica ou condutividade eléctrica mais elevadas.

Os métodos geofísicos são frequentemente usados de forma combinada. Assim, a busca por depósitos minerais metálicos com frequência utiliza levantamentos magnéticos e electromagnéticos aéreos. De modo similar, o reconhecimento de rotina de áreas da plataforma continental inclui simultaneamente levantamentos gravimétricos, magnéticos e sísmicos. Na fase de interpretação, ambiguidades surgidas a partir dos resultados de um método de levantamento podem, frequentemente, ser solucionadas pela análise dos resultados de um segundo método de pesquisa. Atividades exploratórias de hidrocarbonetos e minerais metálicos, e aplicações ambientais representam os principais usos de levantamentos geofísicos, (Kearey & Hill *et al.*, 2002).

Na óptica de Kearey & Hill *et al.*, (2002), em vários métodos de levantamento geofísico é a variação local, segundo um parâmetro mensurável relativo a algum valor natural de fundo, que é de interesse principal. Tal variação é atribuível a zonas localizadas da subsuperfície com propriedades físicas distintas e possível importância geológica. Uma variação local desse tipo é conhecida como uma anomalia geofísica (*geophysical anomaly*) ver tabela 5.

**Tabela 5:** Aplicações de levantamentos geofísicos.

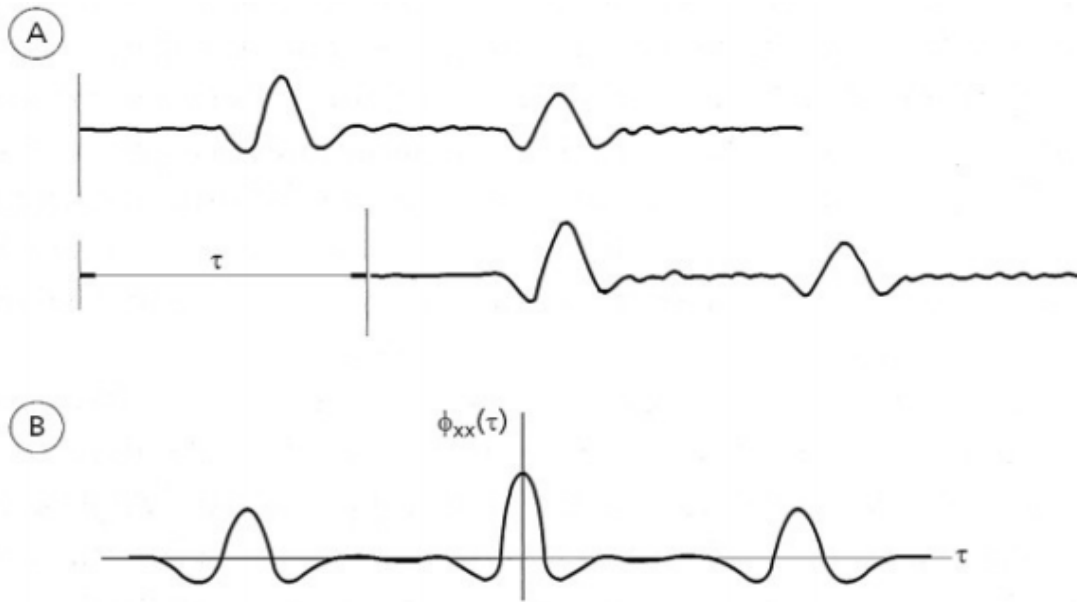
<b>Aplicação</b>	<b>Métodos de levantamento apropriados*</b>
Prospecção de combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão)	S, G, M, (EM)
Prospecção de depósitos minerais metalíferos	M, EM, E, PE, PI, R
Prospecção de depósitos minerais não consolidados (areia e cascalho)	S, (E), (G)
Prospecção de água subterrânea	E, S, (G), (Rd)
Investigação de áreas para engenharia/construção	E, S, Rd, (G), (M)
Investigações arqueológicas	* Rd, E, EM, M, (S)

**Fonte:** (adaptado de Kearey & Hill *et al.*, (2002), o sublinhado corresponde ao tipo de material que será objecto de estudo neste trabalho. \*G, gravimétrico; M, magnético; S, sísmico; E, resistividade eléctrica; PE, potencial espontâneo; PI, polarização induzida; EM, eletromagnético; R, radiométrico; Rd, radar de penetração no solo. Métodos subsidiários entre parênteses.

A filtragem digital em sinais geofísicos é uma prática comum. Para tal devemos sempre ter em conta que a forma de onda que colhemos é uma combinação de sinal e ruído. O sinal é a parte da forma de onda que está relacionada com as estruturas geológicas sob investigação. O ruído compreende todos os outros componentes da forma de onda e posteriormente pode ser subdividido em duas componentes:

- O ruído aleatório** (random noise) e o ruído coerente (coherent noise), o ruído aleatório é apenas isso, estatisticamente aleatório, e normalmente devido a efeitos não relacionados com o levantamento geofísico.
- O ruído coerente** é constituído por componentes da forma de onda gerados pelo ensaio geofísico, mas que não são de interesse direto para a interpretação geológica. Por exemplo, num levantamento sísmico, o sinal pode ter o pulso sísmico chegando num detetor após ter sido refletido por uma interface geológica em profundidade.

O ruído aleatório seria, por exemplo a vibração de fundo devido ao vento, à chuva ou ao tráfego à distância. O ruído coerente seria devido às ondas superficiais geradas pela fonte sísmica, as quais também viajam até o detetor e podem obscurecer o sinal desejado, como ilustra a figura 9, (Kearey & Hill *et al.*, 2002).



**Figura 9:** Forma de onda periódica.

**Fonte:** extraído de (Kearey & Hill *et al.*, 2002), auto correlação da forma de onda periódica mostrada em (A) produz a função de auto correlação com lobos laterais mostrada em (E). O espaçamento dos lobos laterais define o período de repetição da forma de onda original.

Uma vez processados os sinais geofísicos para maximizar o conteúdo do sinal, esse conteúdo deve ser extraído para interpretação geológica. O mapeamento e a modelação são duas estratégias diferentes para essa tarefa. Como o nome indica, no mapeamento, as próprias formas de onda medidas são apresentadas de modo a simular uma imagem da estrutura geológica, nas quais a forma de onda é usada para se obter uma imagem relacionada à ocorrência de limites geológicos em profundidade.

Segundo Kearey & Hill *et al.*, (2002), na modelação a geofísica escolhe um tipo particular de modelo estrutural de subsuperfície, o qual é usado para prever os dados que supostamente seriam colhidos. O modelo é então ajustado para dar a combinação mais próxima entre os dados previstos e os observados. A qualidade do ajuste obtido depende da razão sinal-ruído da complexidade do sinal e da escolha inicial do modelo usado. A modelação é parte essencial da maioria dos métodos geofísicos.

**Resistividade Elétrica** – na óptica de Borges (2007), os métodos eléctricos possuem a sua origem no século XVIII, com a descoberta sobre a resistividade das rochas (Gray e Wheeler:1720) citando Orellana (1972) e sobre a condutividade do solo por Watson (1746 ). Os primeiros trabalhos de aplicação deste método, em prospecção mineral, datam do início do século XX. Entre os diversos investigadores que

contribuíram para o desenvolvimento do método da resistividade eléctrica, destacam-se Conrad Schlumberger, da "Escola Francesa" e Frank Wenner, da "Escola Americana". Eles foram responsáveis pela introdução do arranjo de quatro eléctrodos para medidas de resistividade em superfície.

Segundo Telford *et al.*, (1990), a resistividade eléctrica é conhecida através da detecção de efeitos superficiais ao nível do potencial eléctrico gerados pelo fluxo de corrente eléctrica no subsolo assim, a condução da corrente eléctrica na rocha é condicionada pelos seus constituintes minerais e pelo fluido contido nos poros da rocha, e ocorre segundo dois processos: o primeiro é iónico podendo conduzir a corrente eléctrica por meio dos sais dissolvidos na água contida em seus poros por condução electrolítica e o segundo, electrónico, quando a condução por electrões é possível em minerais que admitem a condução electrónica. Em águas no subsolo os iões são directamente responsáveis pelos valores da resistividade, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, sulfatos e cloretos; algumas rochas contêm minerais metálicos em elevada concentração e permitem a condução ou semi-condução electrónica.

Os métodos geoelectricos baseiam-se nas propriedades eléctricas intrínsecas dos materiais geológicos. A condutividade, a permeabilidade magnética e a permitividade dieléctrica são características mensuráveis através desta metodologia. Os métodos que compõem este grupo são: a resistividade, a polarização induzida, o potencial espontâneo e os eletromagnéticos (Braga, 1997).

No método da resistividade eléctrica, a corrente eléctrica é introduzida no terreno, através de contacto directo e a diferença de potencial gerada no solo é medida com o recurso a eléctrodos. A relação entre as duas magnitudes proporciona uma resistividade eléctrica aparente dos materiais (Borges, 2007).

A resistividade eléctrica destaca-se pelo baixo preço relativo dos equipamentos e por ser um procedimento de fácil aplicação. O conjunto de técnicas é muito utilizado na identificação de plumas de contaminação de água subterrânea (Moura, 2007), em variações litológicas (Borges, 2002) e em geotecnia (Gallas, 2000). Porém, a sua logística é composta por um árduo procedimento de campo (deslocação de eléctrodos e cabos).

Segundo Borges (2007), citando (Sumner,1976), a polarização induzida é um fenómeno eléctrico estimulado pela injeção de corrente eléctrica do meio. O objectivo é o de medir o potencial eléctrico, gerado pelo meio, após a interrupção da corrente, em diferentes intervalos de tempo. É amplamente

difundida por seus excelentes resultados na localização de depósitos minerais, principalmente jazigos de sulfuretos.

Entre as desvantagens deste método eléctrico, está a necessidade de possuir dos equipamento suficientemente potente e sensível, dos quais depende uma boa aquisição de dados. A interpretação do processamento dos dados deve ser realizada de forma minuciosa, conhecendo-se a teoria matemática envolvida, caso contrário, pode haver discrepância nos resultados obtidos (Borges, 2007).

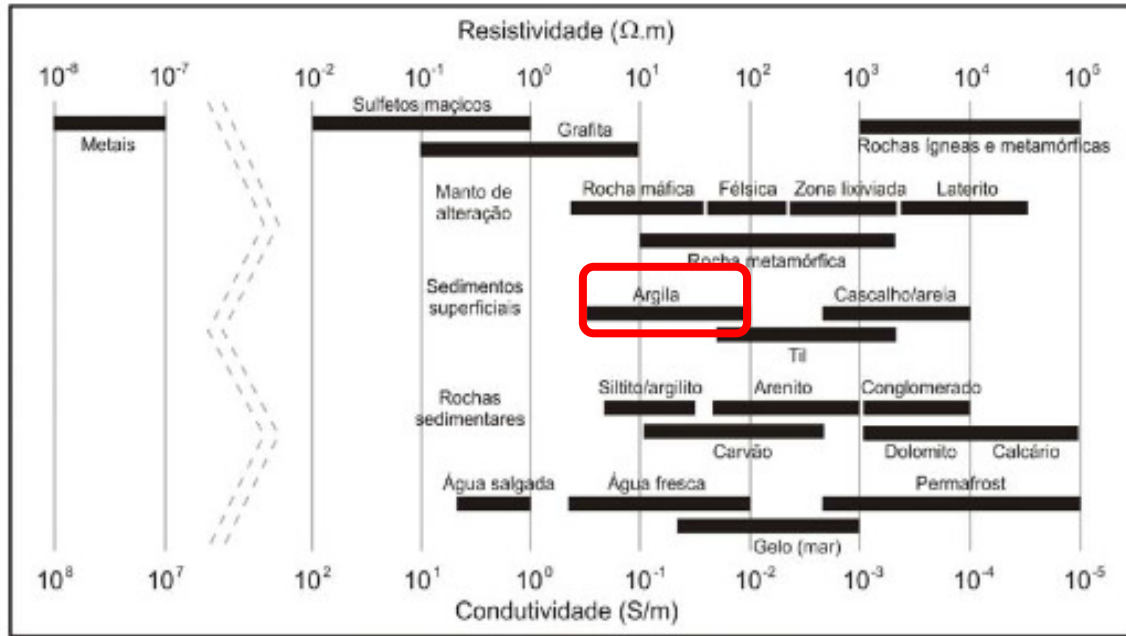
Nesta ótica, os métodos de resistividade tiveram um grande impulso a partir da década de 1990, tanto na instrumentação, como nos métodos de interpretação, o que aumentou ainda mais a utilização deste método. Há muito que se fazer ainda pela busca de novos e mais rápidos algoritmos de obtenção de resultados por inversão, na proposta de novos métodos de medidas e no estudo de novas configurações dos eléctrodos (Borges, 2007).

A prospecção eléctrica envolve a detecção de efeitos em superfície produzidos pelo fluxo de corrente eléctrica no solo. Por intermédio de métodos eléctricos é possível medir potenciais, correntes, e campos electromagnéticos que ocorrem naturalmente, ou são induzidos, na terra. Como já foi referido, os principais factores que influenciam o fluxo de corrente no subsolo são: suas propriedades eléctricas, condutividade eléctrica, permissividade dieléctrica<sup>1</sup> e permeabilidade magnética. Dentre elas, a **condutividade eléctrica** é a mais importante para o método da resistividade eléctrica (Borges, 2007) citando (Keller & Frischknecht, 1966).

A resistividade eléctrica dos materiais geológicos varia consoante o tipo de material geológico em causa (vide figura 10).

---

<sup>1</sup>**Dieléctrica** – ocorre em meios isolantes ou fracos condutores, onde existam pouco ou nenhum electrão livre. Sobre a influência de um campo eléctrico externo, os electrões são deslocados rapidamente do núcleo; esta rápida separação de cargas positivas e negativas é conhecida como polarização dieléctrica do material e ela produz uma corrente conhecida como corrente de deslocamento (Borges, 2007 citando Telford *et al.*, 1990).



**Figura 10:** Intervalos de resistividade/condutividade elétrica de algumas matérias geológicas. (adaptado de Borges, 2007), o material destacado a vermelho é o de grande relevância para este trabalho).

**Método da Resistividade elétrica-** O método de resistividade é usado no estudo de discontinuidades horizontais e verticais das propriedades elétricas do solo, e também na detecção de corpos tridimensionais de anomalia elétrica. É um método de investigação do subsolo efectuado pela injeção de corrente elétrica através de dois eléctrodos (A e B) directamente fixados no solo e a respectiva medição da diferença de potencial (voltagem) entre dois outros eléctrodos (M e N), como ilustra a figura 11, nela a resistividade dos materiais é definida como resistência medida em **ohms** (Kearey & Hill et al., (2002).

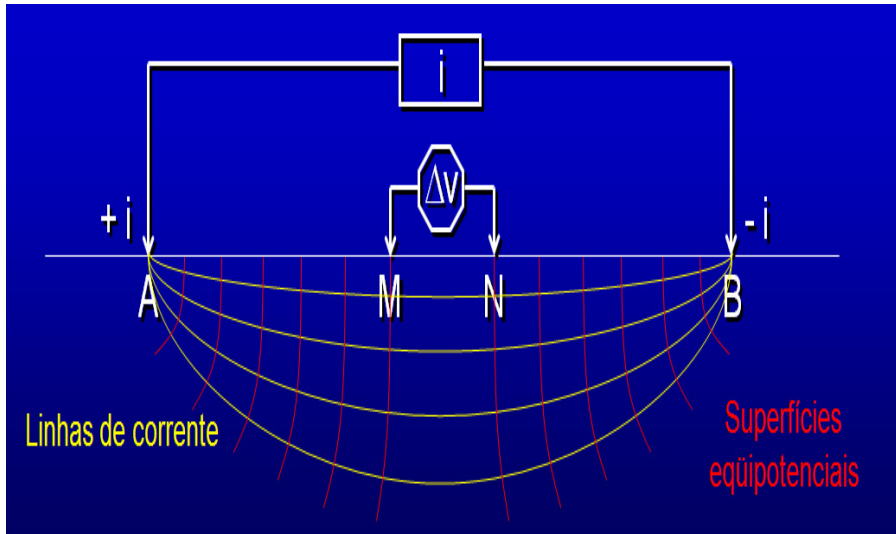
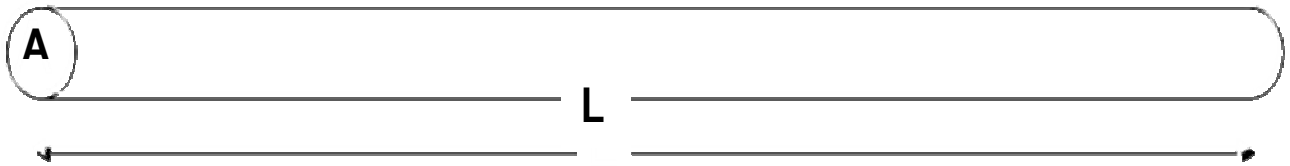


Figura 11: Modelo Esquemático de resistividade (adaptado de Filho, 2007).

Na óptica de Filho (2007), a passagem da corrente eléctrica num fio obedece à Lei de Ohm: que é dada pela seguinte expressão:

$$\Delta V \equiv R I$$



Onde a resistência  $R$  é dada por uma propriedade do material do qual o fio é feito ( $\rho$ , resistividade) multiplicada por um factor geométrico (razão entre o comprimento  $L$  e a área da secção reta  $A$  do fio):

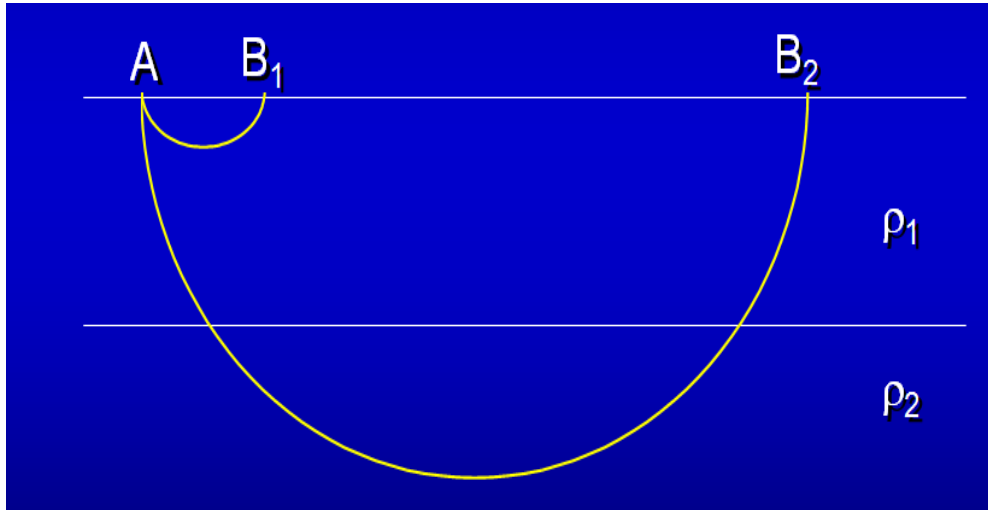
$$R \equiv \rho \frac{L}{A}$$

Logo:

$$\Delta V \equiv \frac{I \rho}{4 \pi r}$$

Voltagem numa semi-esfera é expressa pela seguinte equação:  $A \equiv 4 \pi r^2$

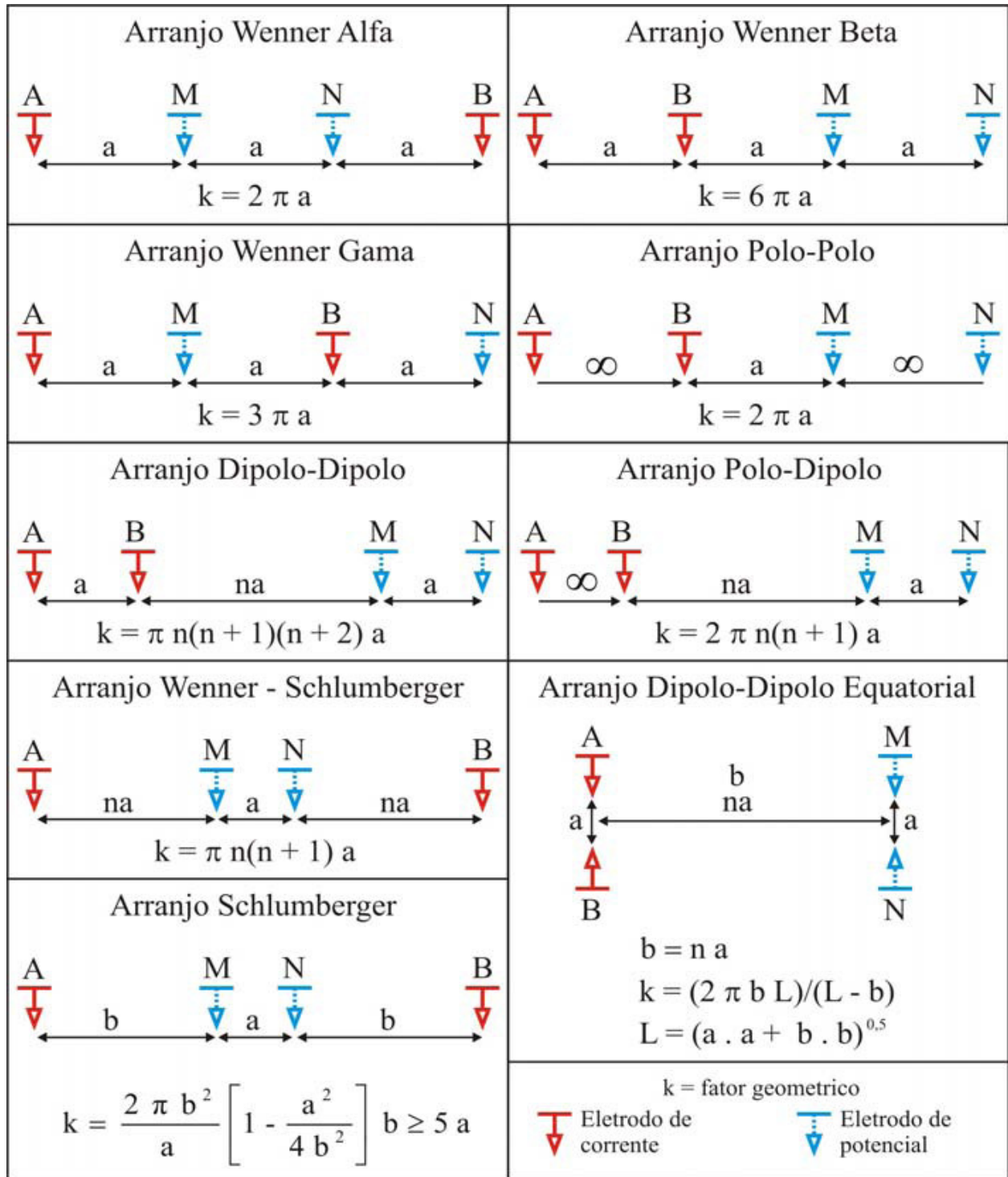
**Profundidade de investigação** - Segundo Filho (2007), a profundidade de investigação é controlada pela distância entre os eléctrodos de corrente **AB** até a profundidade **AB/2** passam 2/3 de toda a corrente, logo a resistividade medida é representativa dessa zona ( vide figura 12).



**Figura 12:** Modelo esquemático de profundidade, (adaptado de Filho, 2007).

Estas técnicas e inúmeras configurações de eléctrodos, e arranjos de eléctrodos, são utilizados, já que, a medida de resistividade aparente do meio, depende da disposição dos pontos de injeção de corrente e dos de medida de potencial no solo. Os dois arranjos mais conhecidos são o **Schlumberger** e o **Wenner**, os demais são derivados dos anteriores, desenvolvidos com o intuito de aprimorar os resultados, diminuindo, em alguns casos, o ruído nos dados, a sensibilidade a determinadas estruturas e o tempo execução em campo. Entre estes se destacam os arranjos dipolo-dipolo, pólo-dipolo, pólo-pólo, (Borges,2007). A figura 13 ilustra alguns arranjos de eléctrodos mais utilizados em campo e seu factor geométrico.



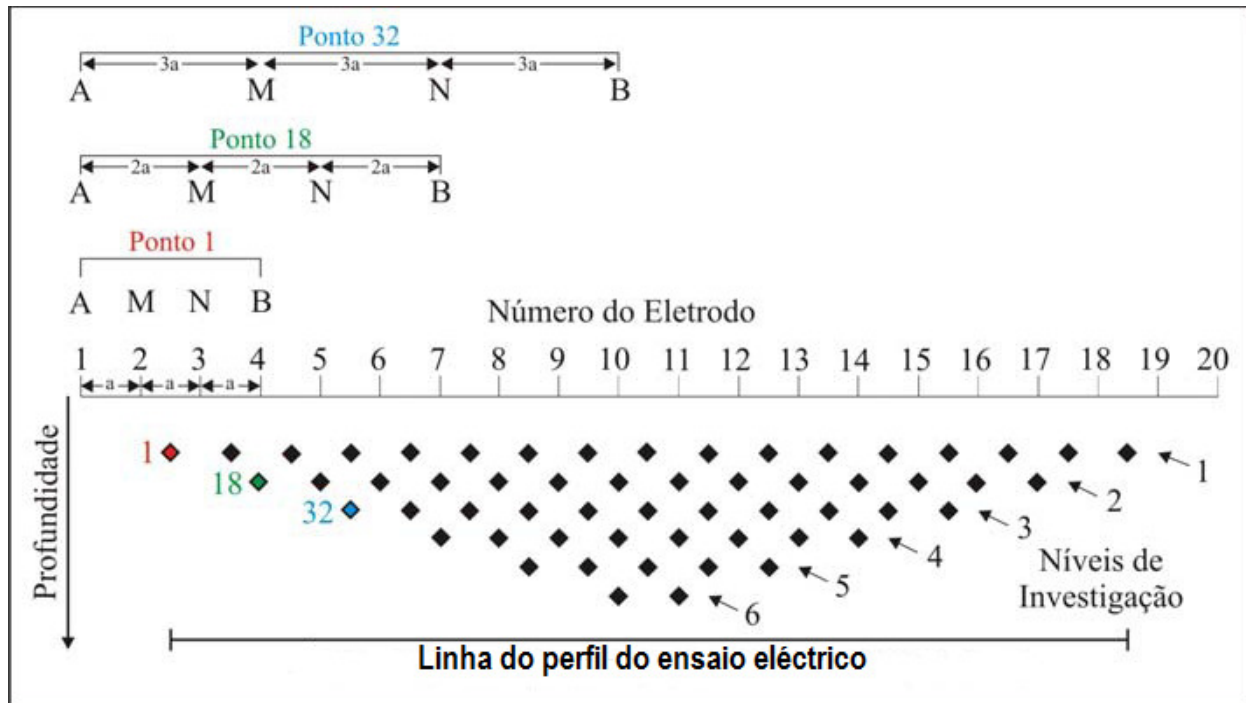


**Figura 13:** Principais arranjos eléctrodos utilizados em ensaios de campo e seus factores geométricos, (extraído de Borges, 2007).

Resumidamente podemos ter quatro tipos de investigações eléctricas, 1D, 2D, 3D e 4D. Relativamente às 1D, as sondagens eléctricas verticais são limitadas a investigações unidimensionais na vertical, impossibilitando investigar variações laterais de resistividade, sendo deste modo, necessário a realização de tomografia eléctrica para identificar variações em 2D de resistividade. Para se obter uma boa imagem 2D da subsuperfície, deve-se ter boa cobertura de medidas. Desse modo é necessário realizar um conjunto de combinações de medidas de 4 eléctrodos ao longo um perfil da superfície proposta. A imagem figura 15 ilustra um sistema de 20 eléctrodos em sequência de espaçamento “a”, entre si.

A sequência de operação para se obter uma pseudoseção geoelectrica é: na investigação da medida do primeiro nível “a” são utilizados os eléctrodos 1, 2, 3 e 4. Nota se que o eléctrodo 1 é usado como o primeiro eléctrodo de corrente **A**, o eléctrodo 2 é utilizado como o primeiro eléctrodo de potencial **M**, o eléctrodo 3 como o segundo eléctrodo de potencial **N** e o eléctrodo 4 como o segundo eléctrodo de corrente **B**. Para a segunda medida, os eléctrodos 2, 3, 4 e 5 são usados como A, M, N e B, respectivamente. Este processo é repetido até os eléctrodos 17, 18, 19 e 20 sejam utilizados para a última medida com o espaçamento “1a”. Para um sistema com 20 eléctrodos, note que existem  $17 = (20 - 3)$  medidas possíveis com o espaçamento “1a” para o arranjo Wenner (Loke, 1996).

Na óptica de Loke (1996), o segundo nível de investigação, quando o espaçamento entre os eléctrodos é “2a”, os primeiros eléctrodos a serem utilizados são: 1, 3, 5 e 7, como ilustra a figura abaixo. Para a segunda medida, são usados os eléctrodos 2, 4, 6 e 8. Este processo é repetido até o final da linha com a utilização dos eléctrodos 14, 16, 18 e 20. Para este sistema de 20 eléctrodos, note que existem  $14 = [20 - (2 \times 3)]$  medidas possíveis para o espaçamento “2a”. O mesmo processo é repetido para as medidas com os espaçamentos “3a”, “4a”, “5a” e “6a”.



**Figura 14:** Arranjo de electrodos para uma investigação 2D. Sequência de medidas utilizadas para construir uma pseudoseção (Borges, 2007 citando Loke, 2004).

Nota-se que com o aumento do espaçamento dos electrodos, o número de medidas diminui. O número de medidas que pode ser obtido para cada espaçamento entre os electrodos, para um dado número de electrodos, depende do tipo de arranjo utilizado. Por exemplo o arranjo Wenner fornece o menor número de medidas possíveis, comparado aos outros tipos de arranjos de electrodos, (Borges, 2007).

Segundo Loke (1996), as pesquisas 2-D são mais práticas, no que tance aos custos económicos, e podem nos dar resultados bastte precisos mantendo os custos baixos. A modelação eléctrica 2-D pode dar-nos informações bastante úteis e complementares das informações obtidas através de outras métodos geofísicos, tais como a sísmica e o GPR (radar de penetração de solo). O mapeamento eléctrica em 2-D, pode ser usado em combinação com os outros métodos ora descritos (sísmica e GPR) com vista a fornecer informação complementar da subsuperfície.

Pela teoria, uma investigação 3D permite obter uma melhoria na identificação da continuidade heterogeneidades eléctricas distribuídas em volume. Por fim os dados 4D serão experiências obtidas a partir de dados 3D no mesmo local mais separadas no tempo de modo a tentar perceber eventuais modificações em ordem ao tempo, (Loke, 1996).

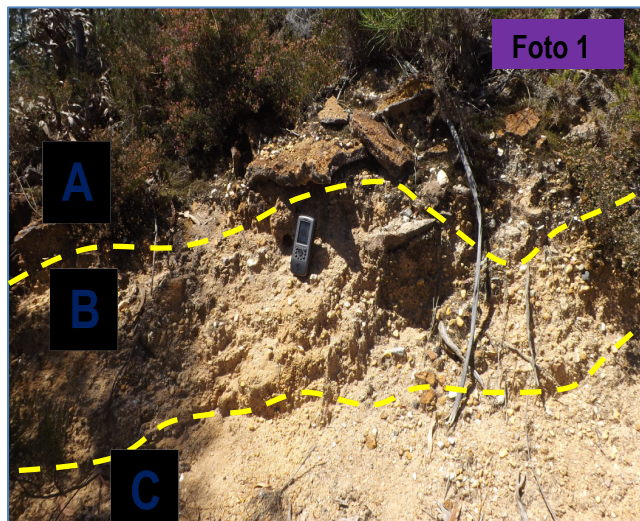
## **Capítulo V**

### **Análise de dados**

## 5. Análise e Discussão de dados

### 5.1. Observações Geológicas de Campo

Durante o trabalho de campo, foram observados alguns dados de interesse geológico da área em estudo, desde as principais litologias que caracterizam o depósito em estudo, com vista a tentar perceber a sua envolvente. A Geologia da região envolvente do depósito de Paligorsquite de Figueiró do Campo, corresponde a formação de áreas e argilas, formação argilo/grosseira e conglomerados na base, que fazem parte da formação do Pliocénico, como podemos ver na figura 15 a seguir.

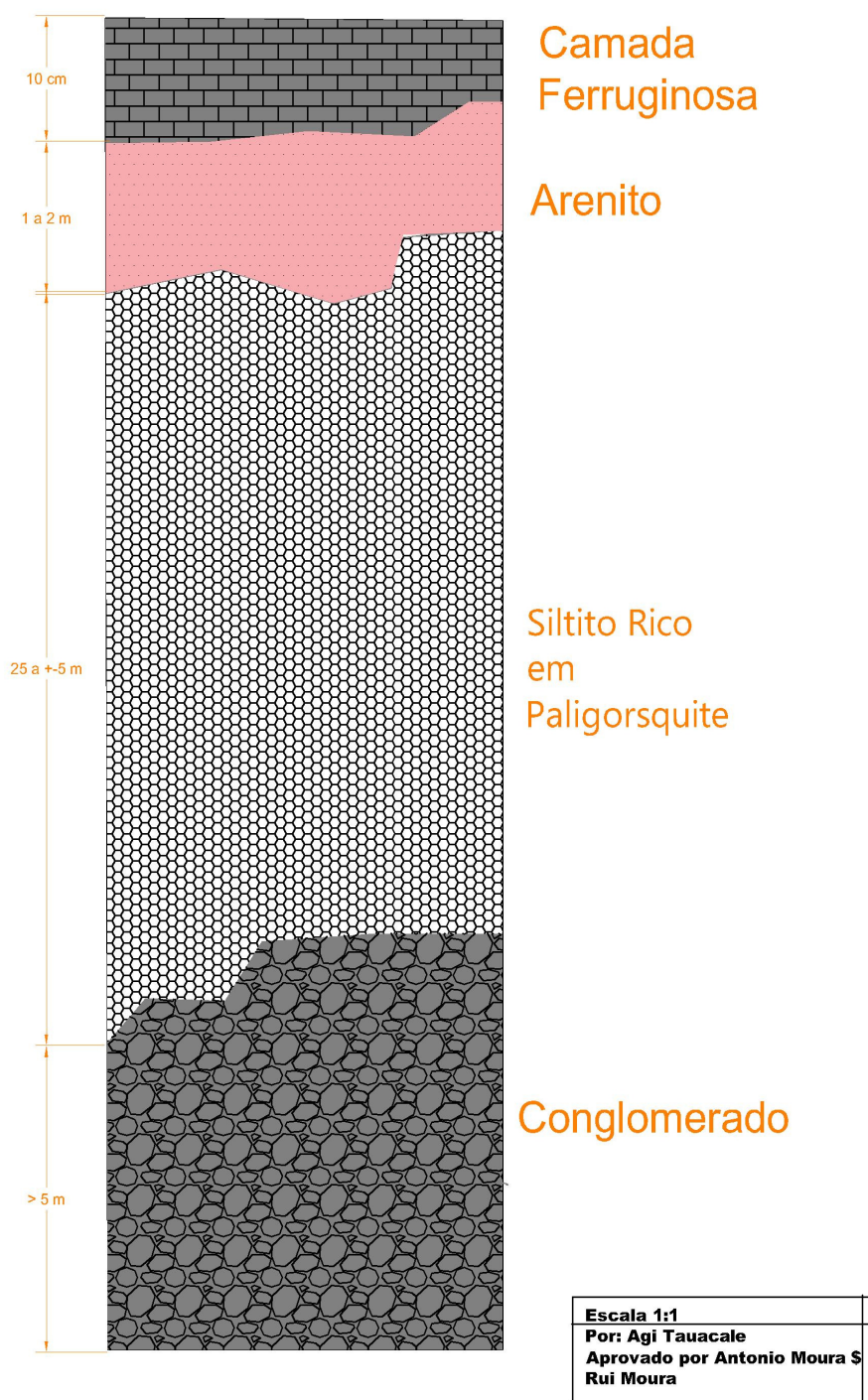


A-carapaça ferruginosa, B-pliocénico C-Camada intercalar com paligorsquite



**Figura 15:** fotos do afloramento do depósito.





**Figura 16:** Perfil ilustrativo do afloramento do depósito de Figueiró do Campo.

## 5.2. Amostragem e espaçamento dos eléctrodos

A amostragem faz parte do trabalho de campo, dependendo da sua natureza, neste trabalho foi feito o perfil numa linha 211.5 metros, o posicionamentos dos eléctrodos foram marcados por GPS com precisão de 1m, foi necessário fazer uma reamostragem dos pontos com vista a obedecer o espaçamento predefinidos de 4.5m, para tal os pontos foram convertidos dados *vectoriais* para *raster* e a posterior definir o valor do *raster* que foi de 4.5m, e novamente converte-los em vectoriais com objectivo de a responder este parâmetro, como ilustra o anexo1. Estes processos de conversão foram materializados com recurso a ferramenta de análise espacial no módulo de Arctoolbox, foi possível ter valores aproximados a realidade no terreno como ilustram as figuras abaixo.

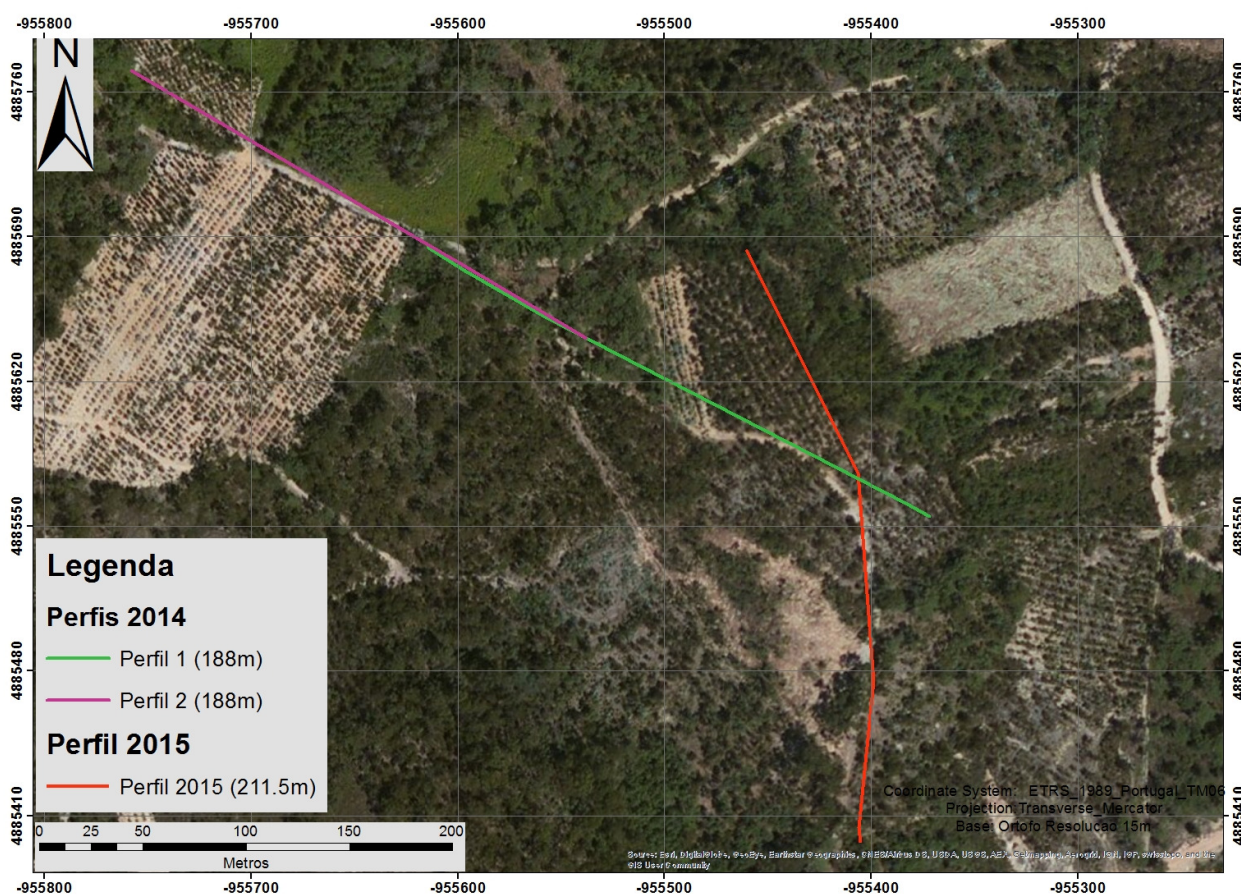


Figura 17: Vista dos perfis de 2014 e 2015.



### 5.3. Trabalhos Resistividade eléctricos em campo

Dadas as características da litologia presente na área de estudo, foram realizadas medições através do método geofísico de resistividade eléctrica com a utilização de eléctrodos múltiplos que permitem a obtenção de uma imagem bidimensional do terreno. Foram montados três perfis respectivamente, dois com 188m e um 211.5m, utilizando para tal com um conjunto de 48 eléctrodos, dispostos ao longo do seu alinhamento, com espaçamentos respectivos de 4m e de 4.5m por eléctrodo como ilustra a tabela 6. O objectivo era obter um obter um consenso entre resolução e a maior profundidade de investigação possível. O resistímetro foi colocado no centro da linha do perfil, os perfis realizados têm no geral, orientação segundo a maior dimensão de terreno disponível.

Faziam parte do material de campo, para a realização do ensaio geofísico os seguintes: Cabo principal, eléctrodos, resistímetro, bateria, martelo, fita métrica, água, sal, pá, cabos eléctricos entre as estacas e o cabo principal, computador, carta topográfica e mapa geológico, como podemos ver nas imagens abaixo, figura 18, **A**, **B** e **C**.







Figura 18: Material usado na região.

Para tal foi usado o arranjo Wenner- Schumberger, Wenner e Dipo-dipolo. No arranjo Wenner, a distância “a” entre os eléctrodos de potencial e de corrente é a mesma. Este arranjo é muito utilizado em áreas com níveis de ruídos mais elevados porque, consegue-se captar o sinal com maior intensidade. Em geral, a geometria Wenner é adequada para identificar estruturas horizontais (camadas), mais relativamente mas limitado para localizar estruturas verticais (diques, falhas).

**Tabela 6:** Espaçamento de eléctrodos a partir da fonte injeção em campo.

Nº /elec	Espaçamento	Nº de elec	Espaçamento	Nº /elec	Espaçamento	Espaçamento 2014		
1	0	21	90	41	180	4	76	148
2	4.5	22	94.5	42	184.5	8	80	152
3	9	23	99	43	189	12	84	156
4	13.5	24	103.5	44	193.5	16	88	160
	18	25	108	45	198	20	92	164
6	22.5	26	112.5	46	202.5	24	96	168
7	27	27	117	47	207	28	100	172
8	31.5	28	121.5	48	211.5	32	104	176
9	36	29	126	49		36	108	180
10	40.5	30	130.5	50		40	112	184
11	45	31	135	51		44	116	188
12	49.5	32	139.5			48	120	
13	54	33	144			52	124	
14	58.5	34	148.5			56	128	
15	63	35	153			60	132	
16	67.5	36	157.5			64	136	
17	72	37	162			68	140	
18	76.5	38	166.5			72	144	
19	81	39	171			76	148	
20	85.5	40	175.5			80	152	



## **5.4. Resultados da Resistividade Elétrica**

Segundo Loke (1996), o programa livre RES2DMOD.EXE, é um programa de modelação de resistividade. Posteriormente calcula-se a resistividade aparente da pseudosecção, na qual o usuário define modelo 2-D da subsuperfície. Com este programa o usuário pode definir um número finito de elementos ou métodos para cálculo de valores de resistividade aparente. Com este programa o usuário pode escolher os diferentes tipos de arranjo para as diferentes situações geológicas.

O mesmo programa suporta os diferentes tipos de arranjo desde, Wenner (Alfa, Beta e Gama), Wenner-Schlumberger, polo-polo, dipolo-dipolo, polo-dipolo e dipolo-dipolo equatorial.

O software RES2DINV, de certa forma utiliza a parte do RES2DMOD, de forma automática de modo a escolher o modelo que produz a pseudosecção que mais se assemelha à pseudosecção obtida dos dados de campo. Este processo designa-se por inversão.

Os dados obtidos no campo na forma de um ficheiro DAT, foram editados para corrigir os níveis de erro e ruído elevados e posteriormente processados com a aplicação RES2DINV. Este converte as resistividades aparentes da pseudo-seção (dados), por inversão geofísica em resultados materializados numa imagem 2D constituída por células.

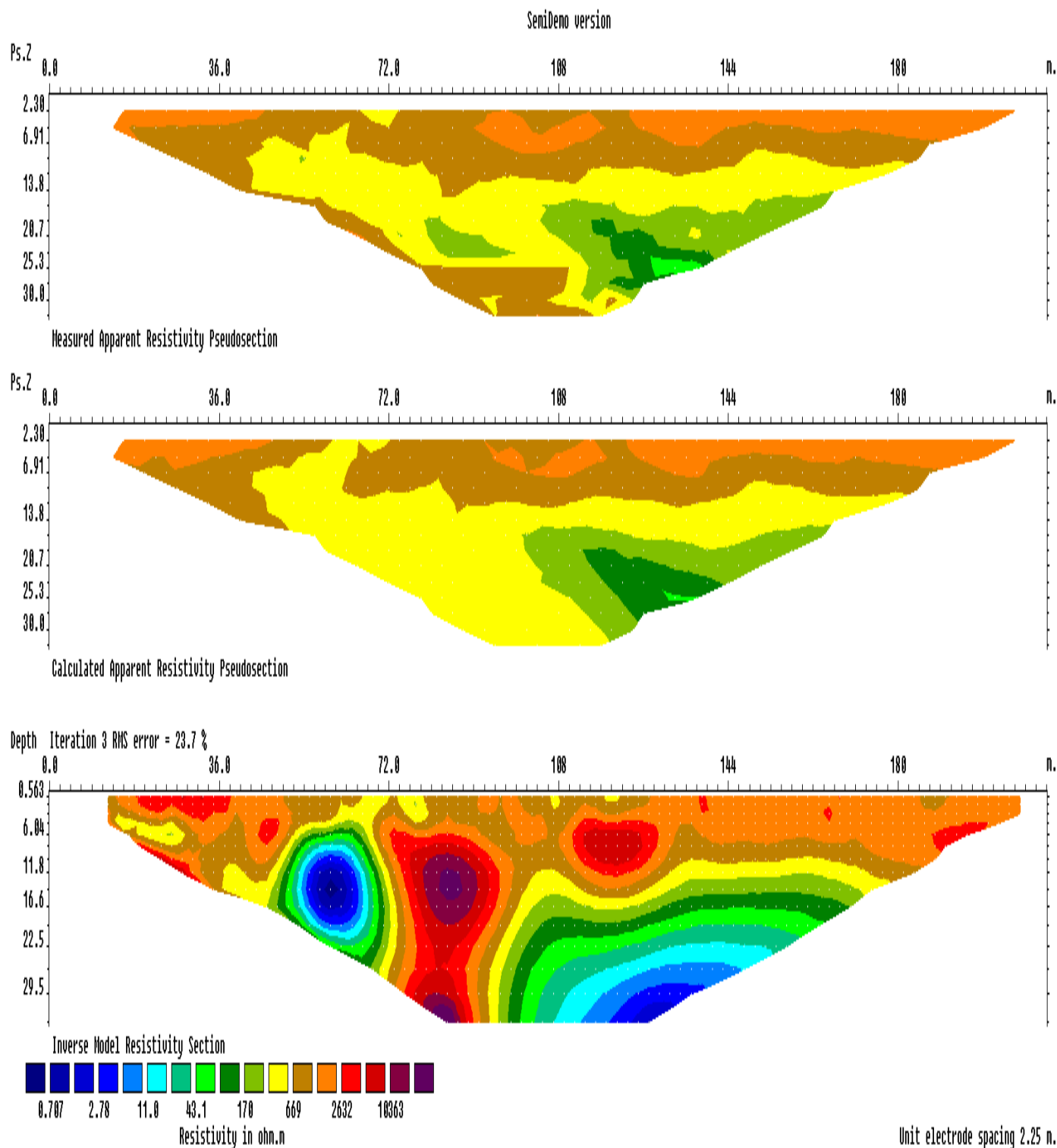
Os perfis obtidos com recurso a resistividade eléctrica, podem ser observados por exemplo nas figuras 20 e 21.

### **5.4.1. Wenner**

No dispositivo de Wenner todos os eléctrodos estão separados pela mesma distância, variando a distância 'a' e mantendo o mesmo ponto central obtém-se uma sondagem eléctrica. Ao realizar um conjunto de sondagens eléctricas, lateralmente separadas, e sobre o mesmo perfil, obtém-se uma "secção" bidimensional que traduz a variação da resistividade do terreno em termos laterais e em profundidade, obtendo-se, por simples atribuição geométrica em posição e profundidade, uma pseudo-secção de resistividade aparente (Sharma, 1997).

Com este arranjo foi possível notar a variação nítida da resistividade eléctrica, conforme figura 19, que ilustra a pseudosecção no perfil ( ao cimo ) e abaixo o resultado em modelo, da inversão efectuada, o que sugere a descontinuidade da camada ferruginosa, proposta para neste estudo com uma grande variação

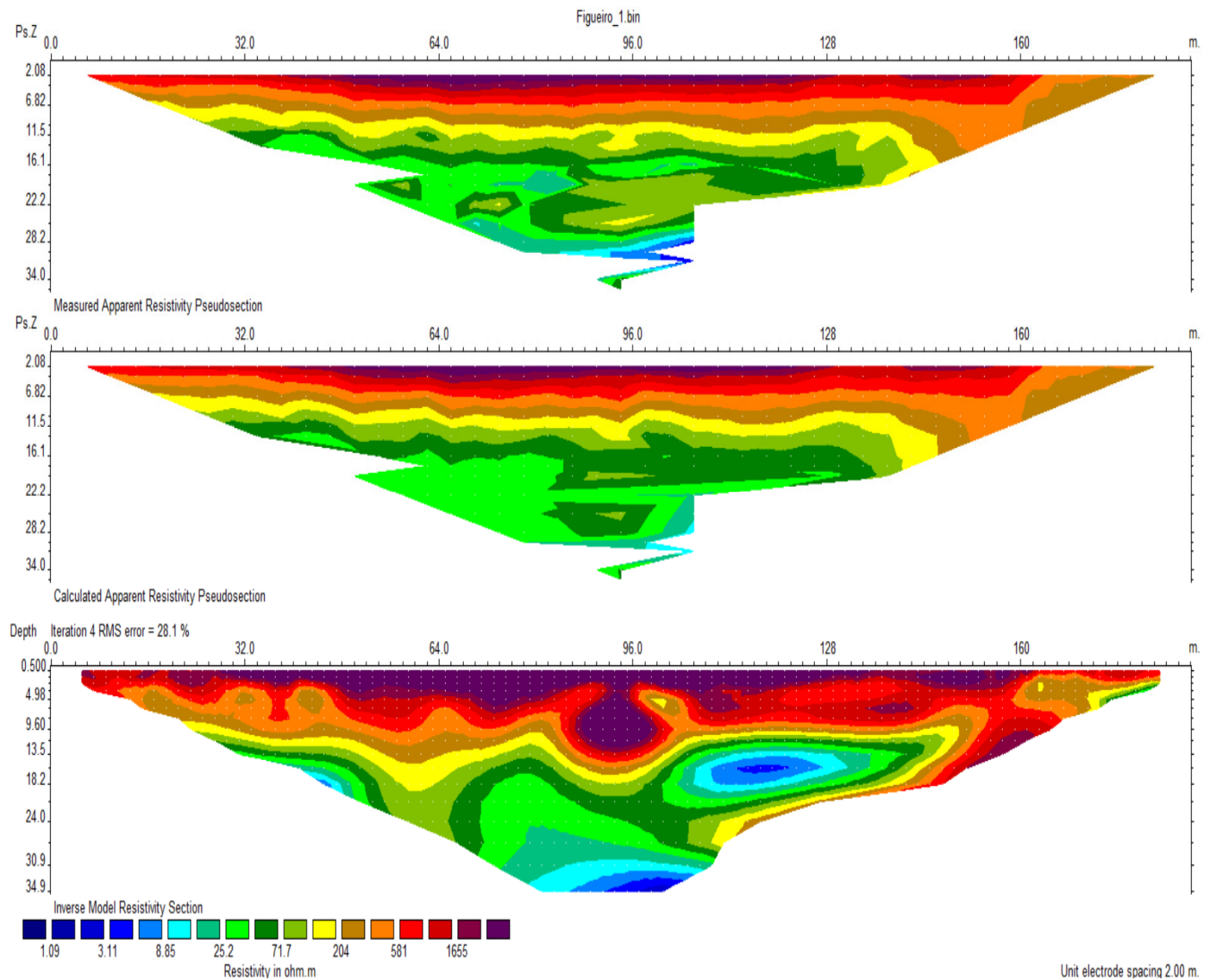
ao longo do perfil. O maior gradiente de variação das resistividades, neste e noutros perfis sugere a que a interface de ocorrência do nível rico em paligorskquite será representada por valores de resistividade abaixo de cerca de 200 Ohm ou seja pelas cores amarelas e outros tons mais frio. Nota-se também uma perturbação, no perfil representado por uma mancha a vermelho, o que poderá se associar a uma possível falha ou existência de uma variação lateral de fácies com valores de resistividade bastante elevados. Pode-se observar que, o flanco anómalo à esquerda é resultante da passagem dos eléctrodos de potencial sobre essa zona mais resistiva. Normalmente, as anomalias resultantes de corpos ou estruturas geológicas reflectem dois flancos anómalos na pseudosecção, a intensidade desses flancos varia em função da geologia local.



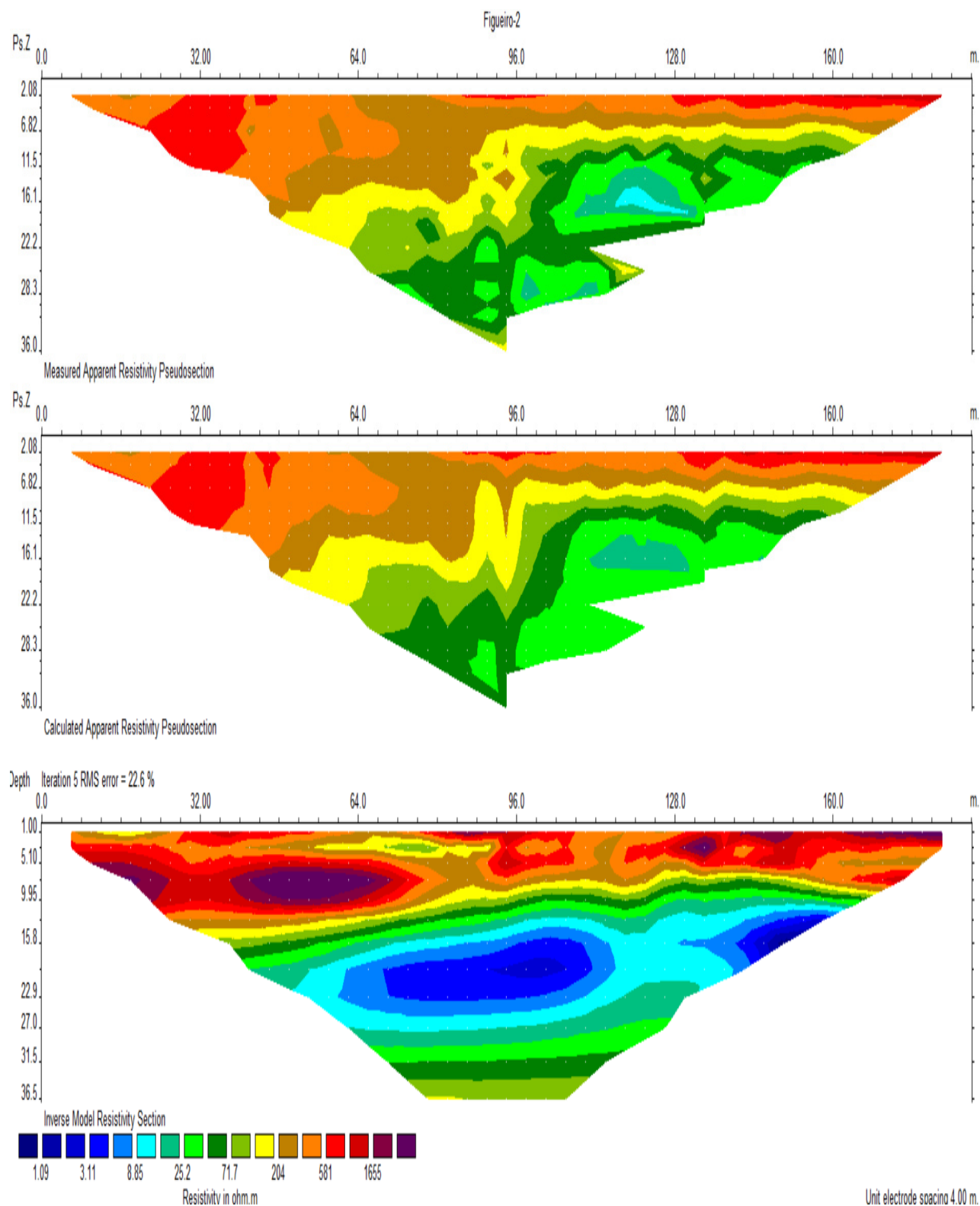
**Figura 19:** Perfil Wenner (pseudosecção de resistividades aparentes (ao cima) e secção com modelo de resistividades correspondente (em baixo).

### 5.4.2. Wenner-Schlumberger

Estes dois ensaios feitos com o arranjo Wenner-Schlumberger, os perfis apresentam uma variação de valores de resistividade, na qual podemos notar a presença de valores de resistividade altos no topo, o que sugere uma expressão da camada ferruginosa. Outros sim evidenciam-se valores baixos representados a cor amarelo claro, que se prolonga até às zonas de tons mais frios e que vão desde os 5 a 36 metros de profundidade, o leva a crer que se trata da camada rica em paligorskite, como podemos ver nas figuras 20 e 21 a seguir.



**Figura 20:** Perfil 1 Wenner-Schlumberger-2014 (pseudosecção de resistividades aparentes (ao cimo) e secção com modelo de resistividades correspondente (em baixo).



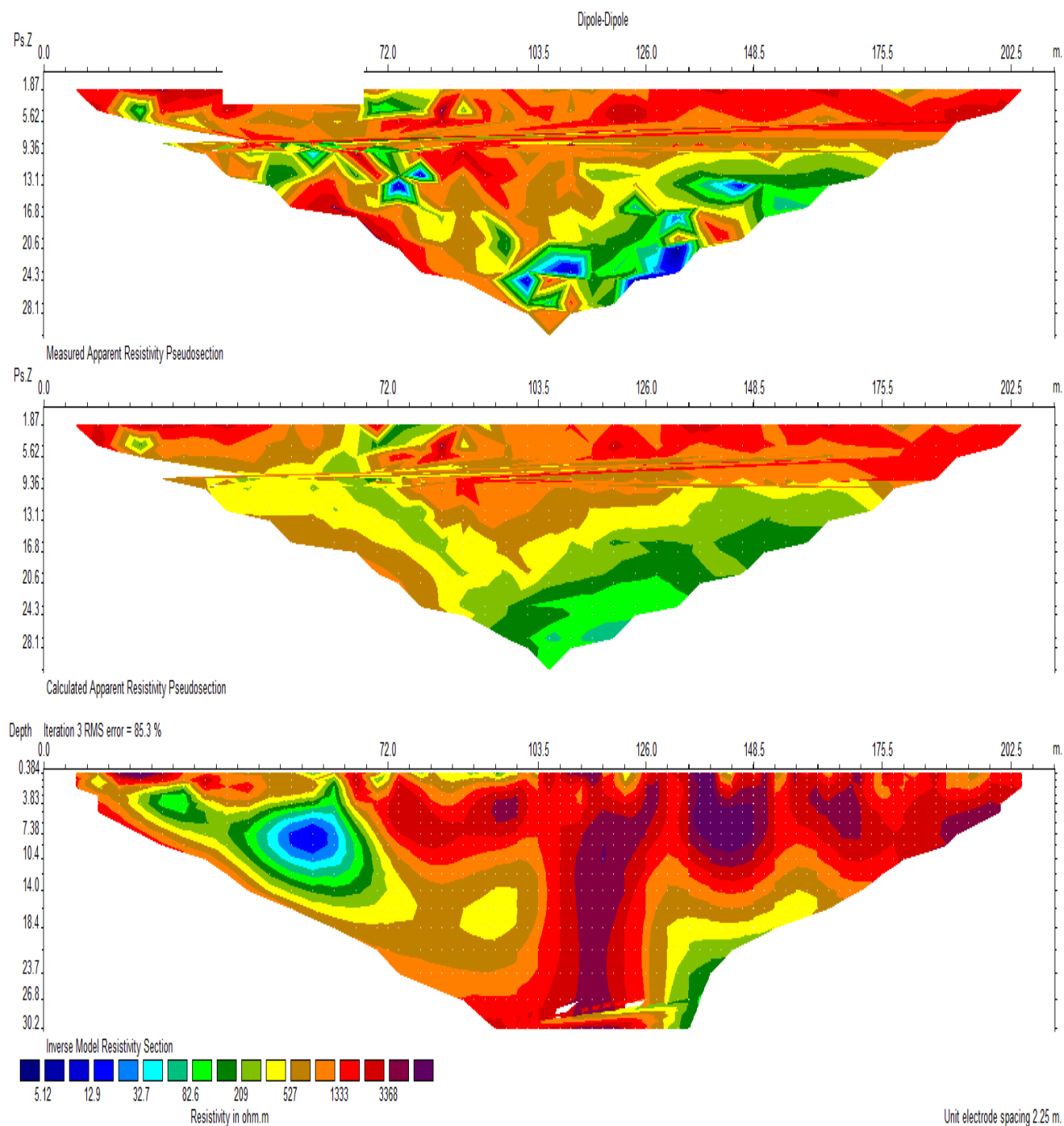
**Figura 21:** Perfil 2 Wenner-Schlumberger-2014 (pseudoseção de resistividades aparentes (ao cima) e secção com modelo de resistividades correspondente (em baixo).

### **5.4.3. Dipolo-Dipolo**

O ensaio com arranjo Dipolo-Dipolo foi desenvolvido ao longo do mesmo perfil, com espaçamento o mesmo espaçamento de 4.5m, após a disposição do arranjo no terreno, e obterem-se as respectivas leituras.

A maior desvantagem desse arranjo (Dipo-Dipolo), diz respeito a baixa razão sinal/ruído. Após a inversão dos dados, concluímos que este conjunto de dados possuía ruído elevado, razão pela qual os dados desta geometria não foram muito considerados. Pese embora estas conotações, em relação aos valores elevados de ruído as variações litológicas que foram encontradas continuam a sugerir a existência de zonas pouco resistivas a profundidades relativamente elevadas, entre 10 a 26m, o que sugere anomalias de um nível rico em paligorskquite como ilustra secção da figura 22.





**Figura 22:** Perfil Dipolo-Dipolo. (nota-se também pelo nível de erro bastante elevado, o que não é aceitável, uma clara influencia da baixa razão sinal/ruído).

Resumidamente podemos ter os seguintes resultados da resistividade elétrica, com forme nos ilustra a figura 23 a seguir.

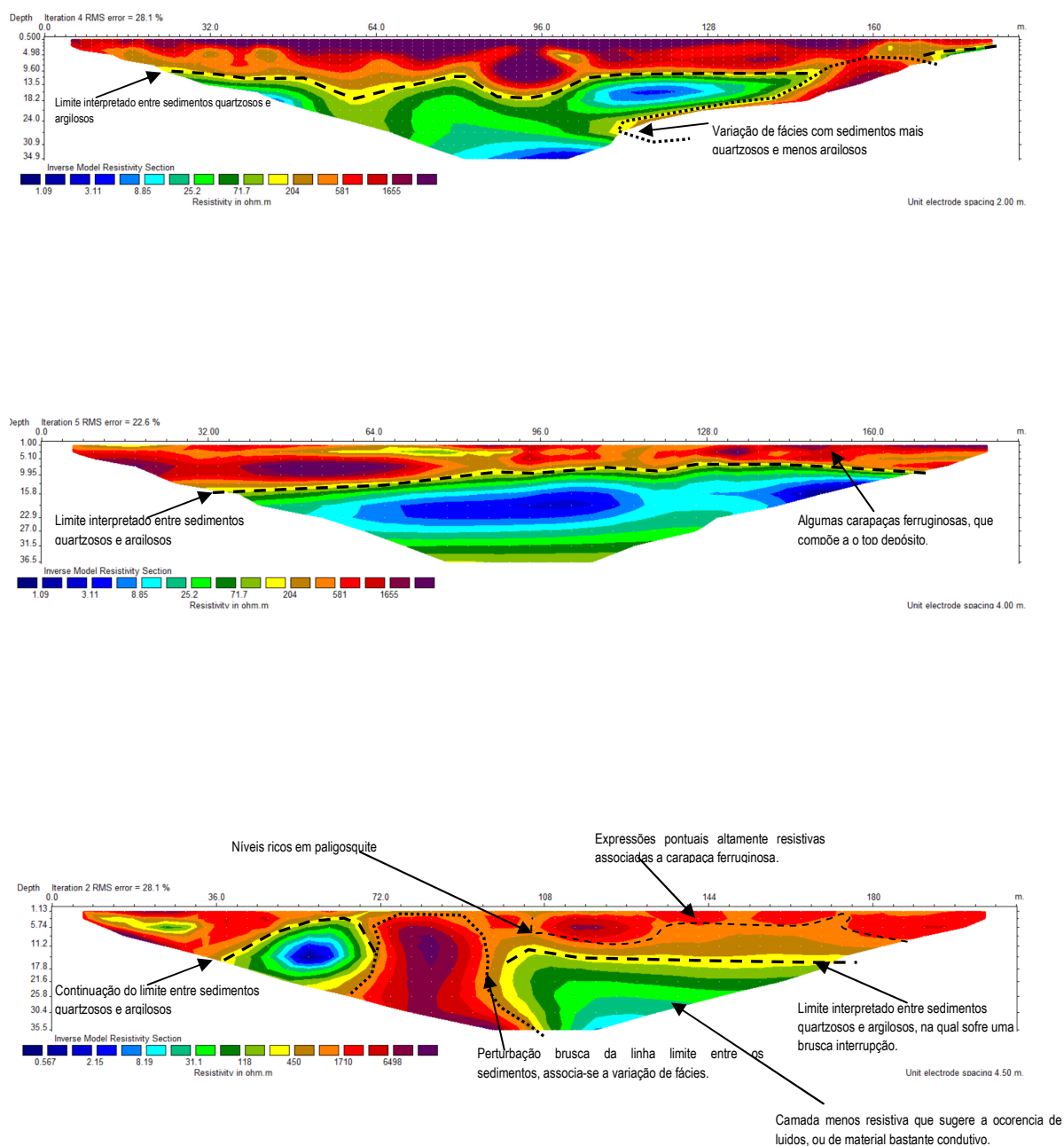


Figura 23: Linhas de interpretação das principais secções.

#### 5.4.4. Análise em 3D

A aquisição, processamento e interpretação de dados de resistividade eléctrica, permitiu elaborar uma visualização 3D a qual ajuda a melhorar a ideia geral do modelo conceptual da zona. Este método de integração dos dados foi possível com recurso ao RockWorks 2015 que consistiu na projecção dos dados no espaço virtual 3D, como ilustram as figuras 24 e 25 a baixo. Nota-se que existe uma certa continuidade das zonas ricas em paligorskite, ao longo dos perfis efectuados, na qual as zonas apresentadas a cor amarelo claro, são tidas como o limite a partir do qual a paligorskite ocorre.

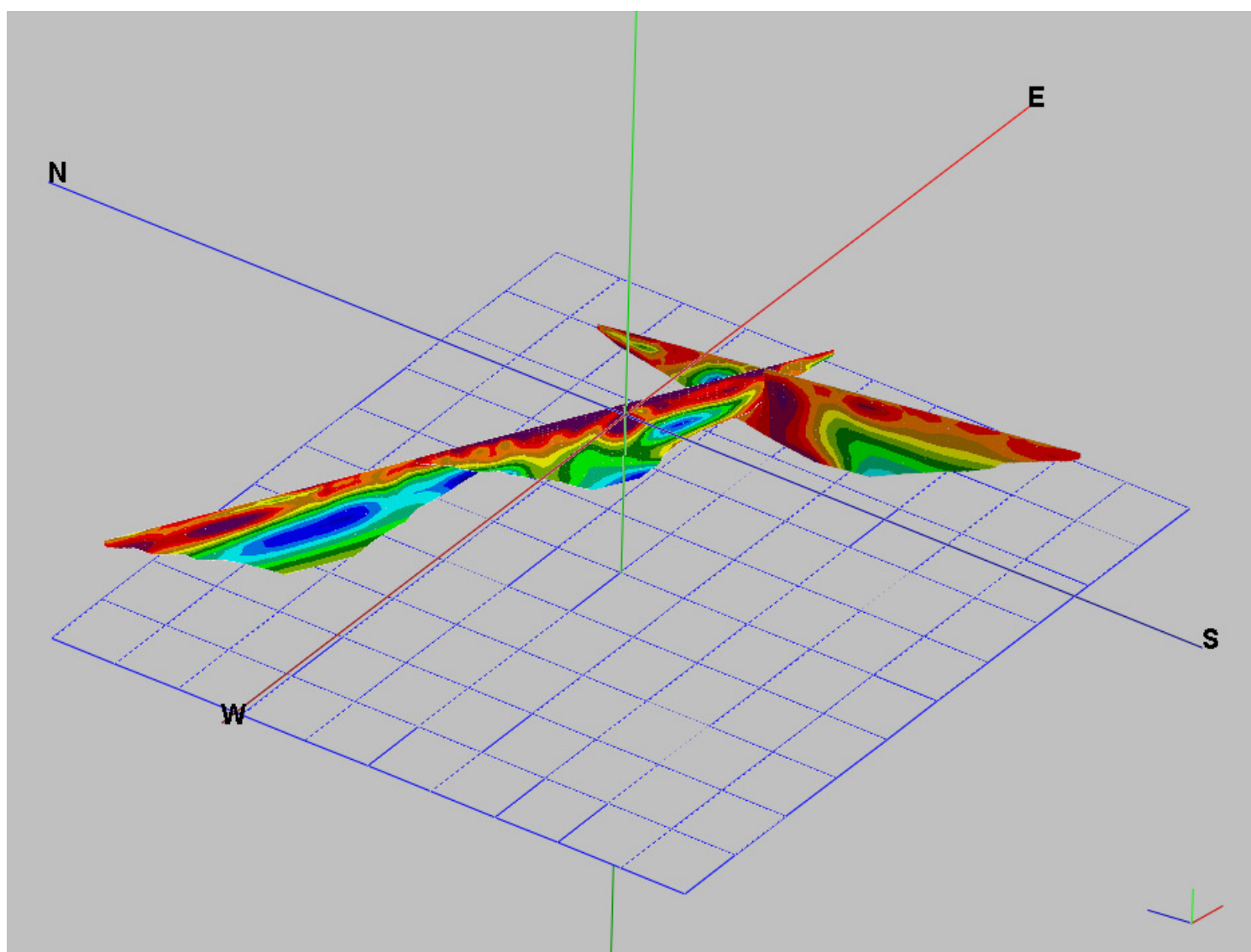
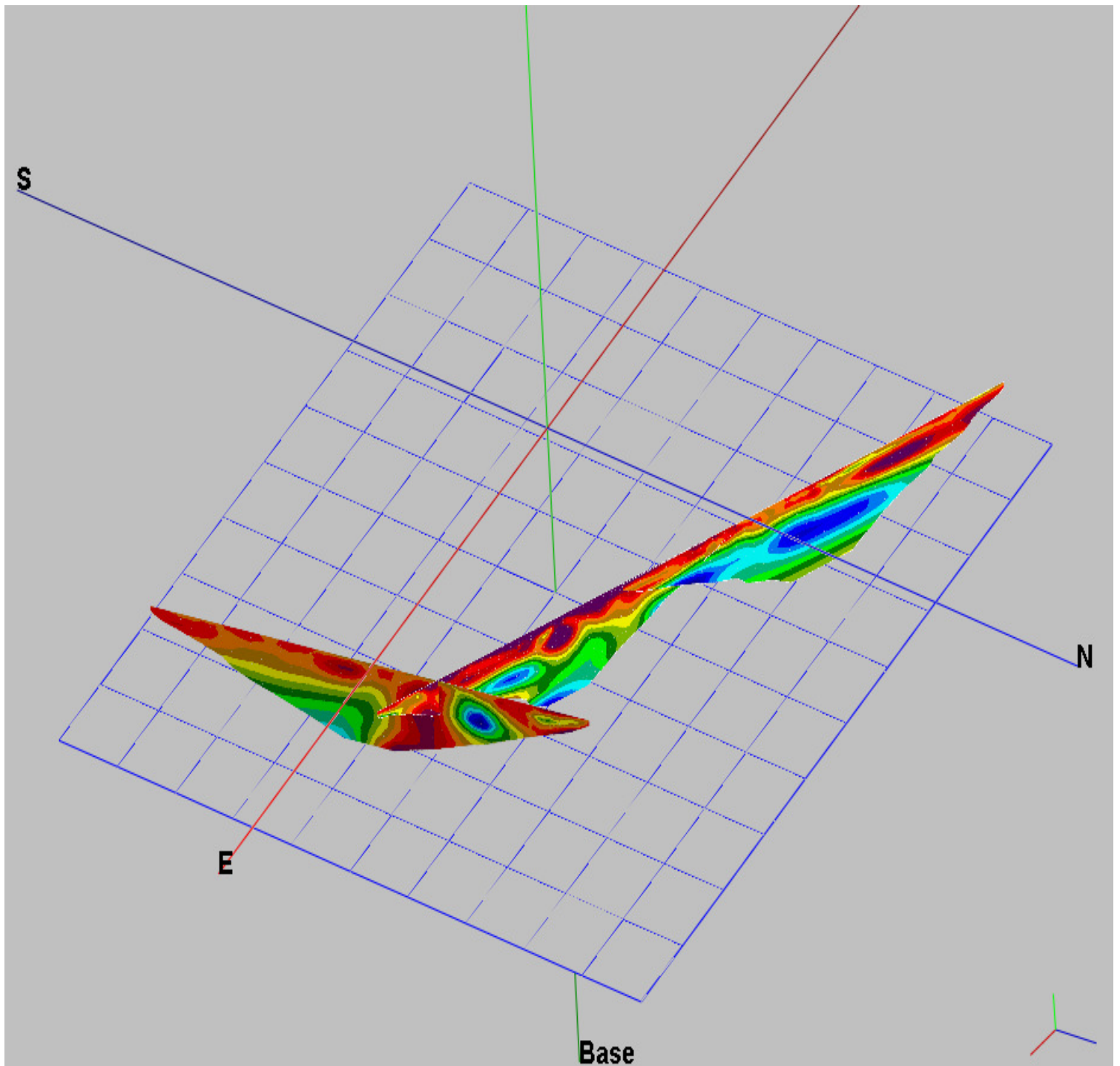


Figura 24: Vista 3D do perfil de 188 m de 2014



**Figura 25:** Vista 3D dos dois perfis de 188 m (NW-SE) e do perfil de 211.5 m sensivelmente NS.

## **6.1.Conclusões**

A aplicação da resistividade eléctrica com os diferentes tipos de arranjo, com destaque para, Wenner e o **Wenner-Schlumberger**, permitiu uma considerável melhoria no conhecimento da área de estudo, com maior enfoque no conhecimento em profundidade, e a melhor compreensão ao nível da variação lateral de fácies da estrutura da Geológica.

O depósito de paligorsquite da região de Figueiró de Campo, mostra-se cada vez mais promissor no que tange ao potencial de beneficiação comercial, pese embora ainda são necessários trabalhos complementares de sondagens mecânicas para se confirmar a extensão vertical e a sua variabilidade espacial.

A existência de valores de condutividades eléctricas elevadas próximas do topo e que vai variando em profundidade evidenciam a existência de um nível rico em argila neste depósito em estudo, o que nos leva a apontar como sendo um depósito de grande potencial. No que diz respeito às disposições estratigráficas, nota-se que a camada ferruginosa não apresenta grande expressão litológica e as camadas subsequentes podem inferir que a camada mais expressiva estará relacionada com a paligorsquite, com uma grande expressão em termos de litologia, que se dispõe ao longo do perfil e ate às grandes profundidades maiores sondadas pelos perfis de resistividade ( cerca de 35 a 36m).

Já as camadas inferiores, apresentam pequenas influência nas resistividades medidas uma vez que se nota nalguns perfis a tendência para o aumento da resistividade. Este facto pode estar associado aos conglomerados que perfazem a base do depósito.

O arranjo Dipolo-Dipolo, mostrou se pouco adequado comparativamente ao Wenner e Wenner-Schlumberger, devido a este primeiro ser bastante sensível a ruído eléctrico ambiental, enquanto o Wenner e Wenner-Schlumberger mostraram se bastante promissores devido ao sinal forte que não sofre grande interferência do ruído o que reflectiu nos perfis adquiridos.

## **6.2.Trabalhos Futuros**

Com intuito de melhorar o conhecimento do depósito de paligorsquite de Figueiró de Campo a curto, médio e longo prazo, propõem-se campanha de prospecção geofísica noutros sectores do depósito, fazendo cruzamentos com os perfis já existentes, com vista melhorar o conhecimento sobre o seu potencial industrial. Será essencial complementar e justificar as anomalias de resistividade encontradas

com sondagens mecânicas com recolha de amostras directas e posterior tratamento e análise das mesmas. Para além das normais descrições litológicas e análises mineralógicas podem também ser feitas análises de resistividade em laboratório como forma de confirmação e análise dos valores obtidos no campo.

Numa perspectiva futura, esta em curso um trabalho de Doutoramento na região com vista a trazer mais subsídios para melhor compreensão deste depósito.

## **7.Bibliografias**

- Almeida, S.L. M. & Chaves, A.P., (1995), **Usos Industriais da Atapulgita de Gaudalupe**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP:BT/PMI/032, Departamento de Engenharia de Minas.
- Alves, W.F.,(2013), **Caracterização da paligorsquite de Figueiró do Campo**, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Aveiro.
- Azerêdo, A.C. *et al.*, (1985), **Novos elementos sobre o "Paleogénico" carbonatado dos arredores de Lisboa**, prova de aptidão pedagógica e capacidade científica apresentada ao Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa.
- Baltar, C.A.M.; Luz, A.B.; Oliveira, C.H. & Baltar, L.M., (2003), **Caracterização mineralógica e tecnológica de atapulgitas de Piauí**. In: **Insumos minerais para a perfuração de poços de petróleo**, UFPE, Rio de Janeiro.
- Birsoy, R., (2002), **Formation of Sepiolite-Palygorkite and related minerals from Solution**, Clay Mineral, Faculdade de Engenharia, Departamento Geologia, Universidade de Bornova Turquia.
- Bonga, C.S.J., (2014), **Prospecção geoelectrica de água subterrânea no Fontão, Angeja-Portugal**, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Aveiro.
- Borges, W.R.,(2007), **Caracterização Geofísica de Alvos Rasos com Aplicações no Planeamento Urbano e Meio Ambiente: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP**, Tese de Doutoramento, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Universidade de São Paulo.
- Braga, A.C.D. O., (1997), **Métodos Geoelectricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica – Formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro, SP**.Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exactas, UNESP, Campus de Rio Claro.
- Carvalho, A.M.G. & Alves, C., (1970), **Nota sobre os depósitos terciários de Moura**, Finisterra, Lisboa.
- Carvalho, A.M.G., (1994), **O Cenozóico continental a norte da Serra de Sintra (estudo tectono-sedimentario)**, Memórias de Geociências, Universidade de Lisboa.
- Carvalho, A.M.G.,(1967),**"Atapulgite em alguns depósitos sedimentares portugueses" considerações estratigráficas e morfoclimáticas**. Finisterra, Lisboa.

- Cunha, P.P.,(2000), **Paleoalterações e cimentações nos depósitos continentais terciários de Portugal central: importância na interpretação de processos antigos**, Faculdade de Ciências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Chemeda, Y.C. & Christidis, G.E. *et al.*, (2014), **Rheological properties of palygorskite–bentonite and sepiolite–bentonite mixed clay suspensions**, Technical University of Crete, Department of Mineral Resources Engineering, Greece University of Patras, ELSEVIER.
- Cunha, P.M.R.R.P. & Reis, B.P.P., (1985), **A sedimentologia duma sucessão aluvial intra-cratónica. O Terciário arcósico do sector sudeste da bacia de Sarzedas (Beira Baixa-Portugal), Memórias e Notícias**, Mineral. Departamento de geologia da Universidade de Coimbra.
- Cutrim, O.A., (1999), **Hidrogeologia, Demanda e Consumo de Água em Rondonópolis-MT: Subsídios para o Desenvolvimento Urbano Sustentável**. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, UFMT.
- Duarte, L.V. R.; Silva, L., & Azerêdo, A.C. *et al.*, (2014), **A Formação de Coimbra na região de S. Pedro de Moel (Oeste de Portugal). Caracterização litologia, definição litoestratigráfico e interpretação sequencial**, Comunicações Geológicas, IX CNG/2º CoGePLiP 2014, Porto, Portugal.
- Dutra, S.P.R. *et al.*, (2006), **Estudo de Formulações para Aplicação em placas Cerâmicas**, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, Brasil.
- Dias, I. & Prates, S., (1997), **Clay mineralogy, texture and chemism of the North sector Tagus basin Tertiary sediments Castelo Branco**, Portugal. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Clay Conference, Ottawa, Canada.
- Dinis, J. M. L. (1999), **Estratigrafia e sedimentologia da Formação de Figueira da Foz - Aptiano a Cenomaniano do sector norte da Bacia Lusitânica**, Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Dias, I., (1998), **Caracterização Mineralógica e Tecnológica de Argilas Especiais de Bacias Terciárias Portuguesas**, Tese de doutoramento na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Daoudi, L.A.K & Rhouta, B., (2009), **Structure properties and genesis of Moroccan palygorskite**, Laboratory of Geosciences and Environment, Faculty of Sciences and Technology, Marrakech Morocco.



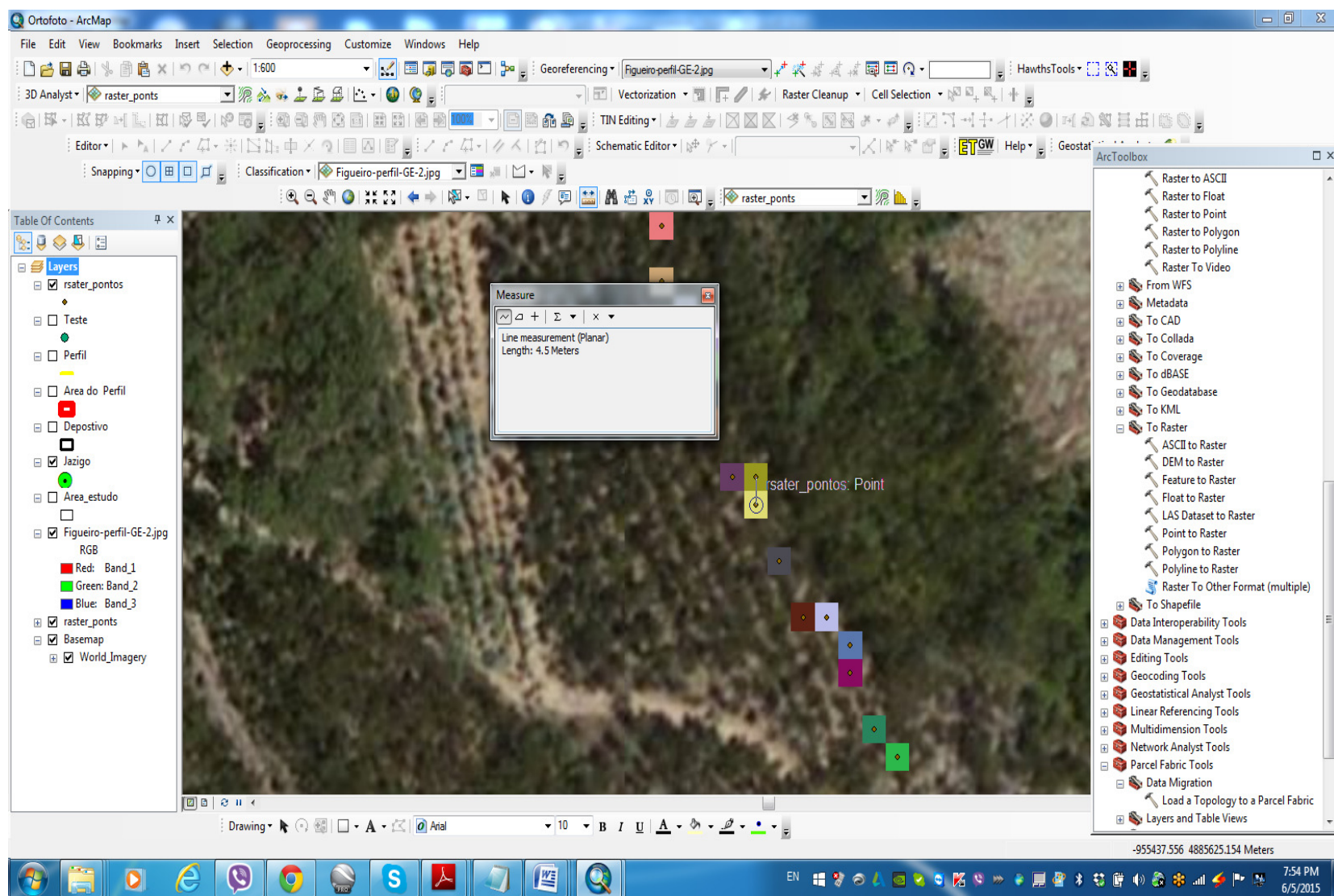
- Ferreira, A. & Velho,J., (2006), **Caracterização Mineralógica e Tecnológica das Argilas Especiais da Sub-bacia de Aguada de Cima (Anadia)**, Congresso nacional de Geologia VII, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Filho, J.M., (2007),**Métodos Geoeléctricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas**, Instituto de Geociências e Ciências exactas – IGCE, Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista.
- Galán,E & Ferrel.R.E., ( 2013), **Genesis of Clay Mineral** ,Departamento de cristalografia, Mineralogia e Química Agrícola, Universidade de Sevilha, Espanha.
- Galán, E. & Pozo,M., (2011), **Palygorskite and sepiolite deposits in continental environments. Description, genetic patterns and sedimentary settings, in Developments in Palygorskite-Sepiolite Research: A New Outlook on These Nanomaterials**, Elsevier, Developments of Clay Science.
- Gallas, J. D. F., (2000), **Principais métodos geoeléctricos e suas aplicações em prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências exactas, UNESP, Campus de Rio Claro – SP.
- Jarentchuk, O.J., (2013), **Aplicação do Georadar (Gpr) na prospecção Electromagnética de Solos: Potencialidades e limitações**, Dissertação de Mestrado, Sector de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.
- Kearey, P. & Brooks,M.I., (2008), **Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed– scale observatories: review**. Vadose Zone Journal: Review and Analysis.
- Kearey, P. Brooks.M & Hill. I., (2002)., **An Introduction to Geophysical Exploration**. Department of Earth Sciences, University of Bristol Cowbridge, Department of Geology Vale of Glamorgan, University of Leicester.
- Keller, V. G.; Frischknecht, F. C. (1966) **Electrical methods in geophysical prospecting**. Oxford, Pergamon Press.
- Kullberg, J.C. R.; Dias, A. & Terrinha, P. *et al.*, (2013), **Geologia de Portugal, Volume II – Geologia Meso-cenozóica de Portugal**, Escolar.
- Kullberg, J.C.R & Rocha.R.B.,*et al.*, (2006), **A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica**, grupo de estudo das universidades de Lisboa, Coimbra e Toulouse.

- Kullberg, J.C.R., (2000), **Evolução tectónica mesozóica da bacia Lusitaniana**, Tese Doutoramento da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Knidiri, A. & Daoudi.L *et al.*, (2014), **Palaeogeographic controls on palygorskite occurrence in Maastrichtian-Palaeogene sediments of the Western High Atlas and Meseta Basins (Morocco)**, Laboratoire de Geo sciences et Environnement, Faculte des Sciences et Techniques Gueliz, Universite Cadi Ayyad, Morocco, Unite' de recherche Argiles, Ge'ochimie et Environnements se'dimentaires (AGEs), Universite de Liege, Departement de Geologie, Belgium, Laboratoire de Matiere Condensee et Nanostructures (LMCN), e Universidade de Aveiro, Portugal.
- Kunetz, G., (1966) **Principles of Direct Current Resistivity Prospecting**, editora Gebruder Borntraeger, Berlin.
- Loke M.H. & Barker R.D., 1996. **Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method**. Geophysical Prospecting, 44, 131-152
- Luz, A.B & Almeida.S.L.M.D., (2005), **Atapulgita e Sepiolita**, Comunicação técnica elaborada para edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e especificações, número: CT2005-113-00, Rio de Janeiro.
- Meira, J.M.L., (2001), **Argilas: o que são, suas propriedades e classificação, comunicação**, Brasil.
- Moura, H.P., (2002), **Emprego da eletroresistividade e da polarização induzida na caracterização geoeletrica de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Tese de *Doutorado*, Instituto de Geociências e Ciências exactas, UNESP, Campus de Rio Claro.
- Moura, A.J.N.G.; Velho, J. & Alves.W.F., (2015), **Beneficiação de paligorskite de Figueiró do Campo por ativação ácida**, Comunicações Geológicas, IX CNG/2º CoGePLiP 2014, Porto, Portugal.
- Murray, H.H., (2000), **Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview**. Applied Clay Science, vol.17.
- Murray, H.H., (1997), **Applied Clay Mineralogy. Developments in Clay Science**, 1ª ed., USA, Scientific Research and Essays, 4 December, 2010, disponível online at <http://www.academicjournals.org/SRE> ISSN 1992-2248 ©2010 Academic Journals.
- Merriman, R.J., (2006), **Clay minerals and sedimentary basin history**. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, U.K.

- Oliveira, R.N.,(2010), **Tratamento e caracterização de Atapulgita visando seu uso em máscaras faciais e para reforço em compósitos com Pva**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Prates, S. & Dias.I., (1993), **A paligorskite em Portugal: uma Síntese em homenagem a Emílio, Portugal**.
- Reis, P.B.R., (1983), **A sedimentológica de depósitos continentais. Dois exemplos do Cretácico Superior-Miocénico de Portugal**. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra (não publicada).
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., *et al*, (1979) **Introduction à la géologie générale du Portugal**. Serv. Geol.Portugal, Lisboa.
- Ribeiro, C.*et al* (1996), **atapulgite em alguns depósitos sedimentares. Portugueses. Considerações estratigráficas e morfoclimáticas**. Notícia explicativa, Universiadde de Lisboa.
- Ribeiro, J.C., Kullberg, J., (2000) **,Evolução tectónica mesozóica da bacia lusitaniana**, Tese Dout. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Rosa, M.L.C.D.C., (2009), **Análise gravimétrica e magnetométrica da região sul da província costeira do Rio Grande do Sul, setor sudoeste da bacia de Pelotas**. Dissertação Mestrado em Geociências, UFRGS, Porto Alegre.
- Pais, J., Cunha, *et al* (2010) **Litostratigrafia do Cenozóico de Portugal. Ciências Geológicas: Ensino e Investigação**. Vol. I. Ciências Geológicas: Ensino e Investigação, p.365-376.
- Soares, Dos.S., (2013), **Avaliação da Argila Antapulgita para potencial uso como excipiente farmacêutico em formas sólidas**, Tese de Mestrado, Departamento de Ciências Farmacêuticas, Centro de Ciências de Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.
- Silva, G.D., (2011), **Obtenção e caracterização de argila piauiense paligorskita (atapulgita) da para uso em formulações cosméticas**, dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí.
- Singer A. & Galan E. (1984) **Palygorskite-sepiolite: occurrences, genesis and uses, Developments in Sedimentology**, Elsevier, Amsterdam.
- Santiago, F.A.J.,( 2010), **Oxidação húmida de Fenóis com catalisadores de ferro suportando em argilomineriais em Reator de leito de Lama ( SLURRY)**, Tese de Doutoramento, Centro de Tecnologias, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- Silva, L.C. A., & Barreto.L.S., (2009), **Obtenção e caracterização de compósitos de PHBV/Atapulgita**, 10º Congresso Brasileiro de Polímeros, Universidade Federal de Sergipe – UFS.
- Soares, A.F., (1996), **Estudo das formações Pos-Jurássicas na região entre Sargento-Mor e Montemor-Velho** margem direita do Rio Mondego, Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra.
- Sharma, P. V. (1997) - **Environmental and engineering geophysics. Cambridge University Press, Cambridge. UK.**
- Telford, W. M.; Geldart, L.P. & Sheriff, R.E., (1990), **Applied Geophysics**. second edition, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Velho, J. & Ferreira, A., (S/ano), **Caracterização Mineralógica e Tecnológica das Argilas Especiais da Sub-bacia de Aguada de Cima (Anadia)**, Congresso nacional de Geologia, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Velho, J., (1998), **Minerais industriais: geologia, propriedades, tratamentos, aplicações, especificações, produções e mercados**, Universidade de Aveiro.
- <http://lfc.nutes.ufrj.br/toxicologia/mlV.dim.htm>)
- <http://lfc.nutes.ufrj.br/toxicologia/mlV.dim.htm>, consultado a 04 de marco de 2015.

## **Anexos**



Anexo I. Processo de conversão de dados de vector para raster

